

**MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMİK DI  
KAWASAN JALUR SESAR OPAK BERDASARKAN  
PENGUKURAN MIKROTREMOR**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada Fakultas Matematik dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains**



**Oleh:**

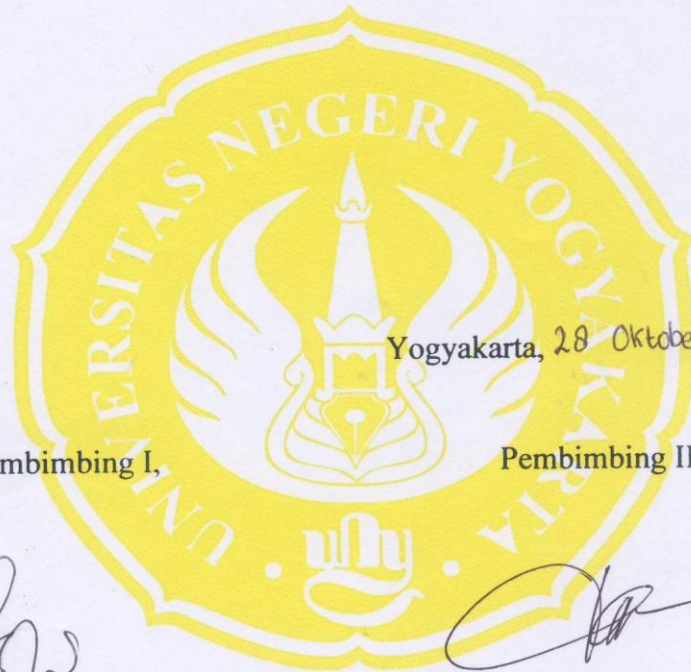
**YUSTINA DEWI ANGGRAENI PUTRI  
NIM. 12306144003**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2016**

## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul **“Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Penggunaan Mikrotremor”** yang disusun oleh Yustina Dewi Anggraeni Putri, NIM. 12306144003 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 28 Oktober 2016

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Nugroho Budi Wibowo, M. Si.

NIP. 19840223 200801 1 011

Denny Darmawan, M. Sc.

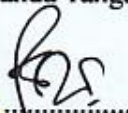


NIP. 19791202 200312 1 002



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Penggunaan Mikrotremor” yang disusun oleh Yustina Dewi Anggraeni Putri, NIM. 12306144003 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 11 November 2016 dan dinyatakan lulus.

## DEWAN PENGUJI

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> NIP. 19840223 200801 1 011	Ketua Penguji		19-11-2016
2	<u>Denny Darmawan, M.Sc</u> NIP. 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		19-11-2016
3	<u>Dr. Warsono, M.Si</u> NIP. 19681101 199903 1 002	Penguji Utama		17-11-2016
4	-	Penguji Pendamping	-	-

Yogyakarta, 21 November 2016

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Dekan



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

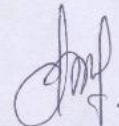
Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Yustina Dewi Anggraeni Putri  
NIM : 12306144003  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul Skripsi : Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur  
Sesar Opak Berdasarkan Penggunaan Mikrotremor

menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 14 Oktober 2016

Yang Menyatakan,



Yustina Dewi Anggraeni Putri

NIM. 12306144003

## MOTTO

*“first they ignore you, then they laugh at you, then they fight you, then you win”*

“Kegagalan bukan Kehendak Tuhan, tetapi kelengahan dari diri kita sendiri.”

“Alam adalah salah satu ciptaan Tuhan yang mengagumkan.”

*“First time is a mistake, but second time is a choice”*

## **PERSEMBAHAN**

- ❖ Kedua orangtuaku tercinta serta adikku tersayang yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa restu, nasehat, serta dukungannya yang luar biasa. Terimakasih untuk semuanya.
- ❖ Sahabat-sahabatku sayang yang menemani dan selalu menegur saat mulai lelah. Terimakasih atas dukungan dan semangatnya.
- ❖ Teman-teman Physics E 2012.

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kekuatan dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Penggunaan Mikrotremor” untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains dalam program studi Fisika ini dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari pihak – pihak yang telah membantu penulis. Sehubungan dari itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si. dan Bapak Denny Darmawan, M.Sc. selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, fasilitas, bimbingan, arahan serta kesabaran sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik. Terimakasih untuk semua pelajaran berharga yang tak ternilai harganya.
4. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.

5. Semua staff dan laboran Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang selalu ikhlas membantu dan menyediakan fasilitas
6. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.
7. Bu Nana, Bu Arin, Bu Dini, Bu Diah, Bu Ida, Bang Imron dan Mas Khafid yang telah membimbing dan menemani selama pengambilan data lapangan.
8. Keluarga tercinta (Orang tua dan Keluarga besar) yang selalu memberi kasih sayang, dukungan, motivasi dan doa yang selalu menyertai dalam penulisan skripsi.
9. Teman-teman Physics E 2012 yang selalu ikhlas untuk berbagi. menemani belajar, serta memberikan kenangan yang indah.
10. Teman-Teman seperjuangan ‘Sesar 5 mm’ (Rifka, Umi, Arif, Yuni) dan Meita, Ika, Heningtyas terimakasih atas tanggung jawab, masukan dan dorongan semangat yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
11. Teman-teman dekat (Meita, Yunita, Ika, Nana, Rifka, Lusi, Umi, Winda) yang telah banyak mengajarku dalam berbagai hal dan motivasi untuk lebih baik.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan tugas akhir baik secara langsung maupun tak langsung.

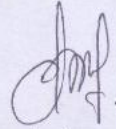
Tak ada kata lain yang dapat penulis ucapkan kecuali ucapan terima kasih, semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis senantiasa mendapatkan balasan dari Allah SWT.



Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya dan dunia pendidikan pada umumnya.

Yogyakarta, 14 Oktober 2016

Yang Menyatakan,



Yustina Dewi Anggraeni Putri

NIM. 12306144003

# MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

Oleh:  
YUSTINA DEWI ANGGRAENI PUTRI  
12306144003

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai indeks kerentanan seismik di kawasan jalur sesar Opak dan mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan jalur sesar Opak. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di jalur sesar Opak dari kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul sampai dengan Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman sebanyak 35 titik penelitian. Data mikrotremor diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mendapatkan kurva H/V yang menghasilkan nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) di setiap titik penelitian, yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dilakukan dengan menggunakan *software* Surfer 12.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik di kawasan jalur sesar Opak berkisar  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang memiliki kategori rendah hingga tinggi. Hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah berada di bagian timur jalur sesar Opak dengan kisaran nilai  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $5,55 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  dan menyebar di kecamatan Imogiri, Prambanan, Piyungan, Panggang, dan Pleret, sebelah timur kecamatan Bantul dan Pundong, sebelah selatan kecamatan Sewon, dan sebelah barat kecamatan Jetis. Untuk hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang ditunjukkan dengan nilai berkisar  $6,29 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $15,90 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  dan hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tinggi dengan nilai  $17,00 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  berada di bagian barat daya dan barat laut jalur sesar Opak menyebar di Kecamatan Kalasan, Berbah, Banguntapan, Kotagede dan Kretek, sebelah barat kecamatan Bambanglipuro dan Bantul, sebelah utara kecamatan Pleret, sebelah barat kecamatan Piyungan, serta sebelah timur kecamatan Jetis.

**Kata kunci:** *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio, Indeks Kerentanan Seismik, Mikrotremor, Sesar Opak*

# MICROZONATION OF SEISMIC VULNERABILITY INDEX IN OPAK FAULT LINES AREA BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENT

By:  
YUSTINA DEWI ANGGRAENI PUTRI  
12306144003

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the value of seismic vulnerability index and its microzonation at Opak fault line area. The area of this study was in Opak fault lines of Bambanglipuro District, Bantul Regency until Prambanan District, Sleman Regency by taking the microtremor data of 35 locations. The microtremor data were then processed using *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) method to get H/V curve which generates predominant frequency ( $f_g$ ) value and amplification factor ( $A$ ) at every observation point, which will be used in the seismic vulnerability index calculation ( $K_g$ ). Seismic vulnerability index microzonation was generated using *Surfer12 software*.

The results showed that the value of seismic vulnerability index in the Opak fault line area is between  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $5,55 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  which is categorized as low to high. The low results of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) microzonation located in the eastern part of Opak fault line area was indicated by values between  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $5,55 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  and spread in the Imogiri District, Prambanan District, Piyungan District, Panggang District, and Pleret District, eastern part of Bantul and Pundong District, southern part of Sewon District, and western part of Jetis District. The medium results of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) microzonation value indicated by the value of  $6,29 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $15,90 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  and the high results of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) microzonation with value of  $17,00 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  are located in the southwestern and northwestern part of Opak fault line area and spread in the Kalasan District, Berbah District, Banguntapan District, Kotagede District and Kretek District, western part of Bambanglipuro and Bantul District, northern part of Pleret District, western part of Piyungan District, and eastern part of Jetis District.

**Keywords:** *Opak Fault, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Microtremor, Seismic Vulnerability Index.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	x
ABSTRACT .....	xi
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
 <b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
A. Latar belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Tujuan Penelitian .....	6
F. Manfaat Penelitian .....	6
 <b>BAB II. KAJIAN TEORI .....</b>	 <b>8</b>
A. Dasar teori.....	8
1. Gempabumi .....	8
2. Sejarah Kegempaan di Wilayah Yogyakarta .....	9
3. Gelombang Seismik .....	10

A. Gelombang Badan .....	14
1. Gelombang Primer .....	14
2. Gelombang Sekunder .....	14
B. Gelombang Permukaan .....	15
4. Sesar ( <i>Fault</i> ) .....	16
5. Mikrotremor .....	19
6. HVSr ( <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> ) .....	19
7. Mikrozonasi .....	22
8. Transformasi Fourier .....	23
A. <i>Discrete Fourier Transform</i> (DFT) .....	24
B. <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) .....	25
9. Penghalusan Data .....	29
10. Indeks Kerentanan Seismik .....	30
11. Frekuensi Predominan .....	32
12. Faktor amplifikasi .....	33
13. Kondisi geologi daerah penelitian .....	34
B. Kerangka Berpikir .....	37
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
A. Waktu dan tempat penelitian .....	38
B. Variabel penelitian .....	38
C. Instrumen penelitian .....	39
D. Teknik pengambilan data .....	41
1. Tahap desain survey .....	41
2. Tahap Pengambilan Data .....	45
E. Teknik Analisis Data .....	48
F. Diagram Alir penelitian .....	49
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
<b>BAB V. KESIMPULAN .....</b>	<b>64</b>



A. Kesimpulan .....	64
B. Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Jumlah kerusakan bangunan akibat gempabumi Bantul 27 Mei 2006 (UNOCHA, 2006) .....	3
Gambar 2.	Komponen-komponen gaya pada medium berbentuk kubus (Telford <i>et al.</i> , 2004) .....	10
Gambar 3.	Ilustrasi gerakan partikel (a) gelombang P, (b) gelombang S (Braile, 2006) .....	15
Gambar 4.	Sesar (van der Pluijm, 2004) .....	17
Gambar 5.	Jenis-jenis sesar, (a) Sesar Normal, (b) Sesar Naik, (c) Sesar Mendatar, (d) Sesar Oblique (van der Pluijm, 2004) ...	18
Gambar 6.	Peralatan pengukuran mikrotremor (a) Seismometer (b) GPS antena (c) Laptop (d) Kabel (e) Digitizer (f) Kompas (g) GPS .....	40
Gambar 7.	Peta lokasi pengambilan data .....	41
Gambar 8.	Peta lokasi titik penelitian setelah dilakukan survei lapangan .....	44
Gambar 9	Peta lokasi data sekunder .....	44
Gambar 10.	Kurva H/V .....	46
Gambar 11.	Diagram alir penelitian .....	49
Gambar 12.	Peta mikrozonasi frekuensi dominan ( $f_g$ ), di kawasan jalur Sesar Opak .....	51
Gambar 13.	Peta mikrozonasi faktor amplifikasi ( $A$ ) di kawasan jalur Sesar Opak .....	53

Gambar 14.	Peta pemodelan pengaruh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap nilai indeks kerentanan seismik .....	56
Gambar 15.	Mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) <i>dioverlay</i> dengan peta administrasi di kawasan jalur sesar Opak .....	57
Gambar 16.	Mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) <i>dioverlay</i> dengan peta formasi geologi di kawasan jalur sesar Opak ...	58
Gambar 17.	Peta distribusi kerusakan akibat gempabumi Bantul 2006 <i>dioverlay</i> dengan peta administrasi .....	59
Gambar 18.	Peta distribusi kerusakan akibat gempabumi Bantul 2006 <i>dioverlay</i> dengan peta formasi geologi .....	60
Gambar 19.	Peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik <i>dioverlay</i> dengan peta sebaran kerusakan akibat gempabumi 27 Mei 2006 dan peta administrasi .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Data jumlah kerusakan bangunan rumah dan korban jiwa di Kabupaten Bantul akibat gempa bumi 27 Mei 2006 (OCHA, 2006) .....	2
Tabel 2.	Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009) .....	34
Tabel 3.	Syarat Penelitian Mikrotremor (SESAME, 2004) .....	42
Tabel 4.	Nilai <i>Threshold</i> untuk $\sigma_f$ dan $\sigma_A(f_0)$ (SESAME, 2004) .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Hasil Penelitian .....	70
Lampiran 2.	Tahap - Tahap Pengolahan Data .....	75
	A. Analisis Data Mikrotremor Menggunakan <i>software</i>	
	Sessaray-Geopsy .....	75
	B. Mencari Nilai $V_{s30}$ .....	79
	C. Pemetaan Hasil Penelitian .....	81
Lampiran 3.	Analisa <i>SESAME European Research Project</i> dan	
	Kurva H/V .....	84
	1. Uji Reabilitas dan <i>Clear peak</i> H/V .....	84
	2. Kurva H/V .....	87
Lampiran 4.	Peta Geologi Daerah Penelitian .....	128
Lampiran 5.	Program MATLAB R2008a .....	129
Lampiran 6.	Digital Portable Seismograph Tipe TDL-303S .....	133
Lampiran 7.	Dokumentasi .....	136
Lampiran 8.	Persamaan Gelombang Seismik .....	137
Lampiran 8.	<i>Datasheet SESAME</i> .....	143



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Posisi Daerah Istimewa Yogyakarta dan seluruh pantai selatan Jawa merupakan merupakan daerah rawan gempa, dikarenakan subduksi lempeng Indo-Australia yang terus mendesak ke utara lempeng Eurasia, serta terdapat banyak patahan atau sesar yang aktif. Tercatat dalam sejarah kegempaan di Daerah Istimewa Yogyakarta terdapat beberapa gempa besar antara lain tahun 1867 yang telah menyebabkan kerusakan bangunan penduduk dan perkantoran, tahun 1840 dan 1859 yang menyebabkan tsunami, 1943, 1981, 2001 dan 2006 (Daryono, 2010).

Gempabumi Yogyakarta tahun 2006 tercatat sebagai bencana gempabumi paling mematikan di pulau Jawa, karena banyak memakan korban jiwa dan kerusakan bangunan dengan jumlah yang sangat banyak. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), pusat gempa berada pada koordinat 8.03 LS dan 110,32 BT. Kekuatan gempa diprediksi 5,9 Skala Richter dengan pusat gempa berada pada kedalaman 33 kilometer. Wilayah yang mengalami kerusakan dan banyaknya korban berada di kiri-kanan kawasan Jalur Sesar Opak, yaitu Kretek, Bambanglipuro, Jetis, Imogiri, Piyungan, Berbah, Kalasan, Prambanan dan Klaten (IAGI, 2006). Gempabumi ini menewaskan lebih dari 5000 jiwa dan melukai lebih dari 20.000 jiwa, sementara jumlah kerusakan bangunan lebih dari 100.000 buah (BAPPENAS, 2006). Korban jiwa dan kerusakan

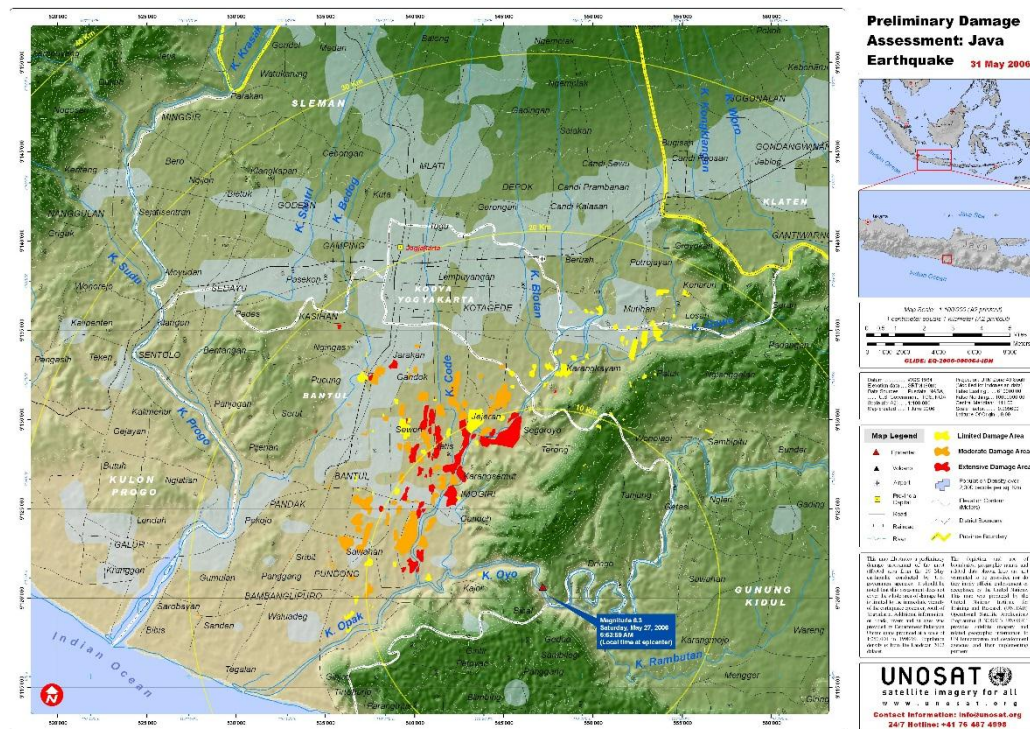
bangunan terbanyak berada di wilayah Bantul. Data kerusakan bangunan dan korban jiwa akibat gempa bumi 27 Mei 2006 di kawasan Jalur Sesar Opak ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data jumlah kerusakan bangunan rumah dan korban jiwa di Kabupaten Bantul akibat gempa bumi 27 Mei 2006 (OCHA, 2006)

Kecamatan	Kerusakan Rumah	Korban Jiwa	
	(Hancur dan Rusak Berat)	Meninggal Dunia	Luka Berat
Srandakan	3.396	5	9
Sanden	2.149	2	25
Kretek	5.786	18	130
Pundong	8.696	333	200
Bambanglipuro	9.319	548	0
Pandak	8.726	88	216
Bantul	12.046	234	167
Jetis	13.966	646	223
Imogiri	11.018	119	247
Dlingo	4.757	6	581
Pleret	10.461	684	4077
Piyungan	10.315	154	605
Banguntapan	13.789	363	949
Sewon	16.777	425	250
Kasihan	6.447	54	193
Pajangan	3.444	34	86
Sedayu	2.043	1	15
<b>JUMLAH</b>	<b>143.135</b>	<b>3.779</b>	<b>8.315</b>

Faktor-faktor yang mengakibatkan kerusakan akibat gempa bumi antara lain kekuatan gempa bumi, kedalaman gempa bumi, jarak hiposenter, lama getaran, kondisi tanah dan kondisi bangunan (BMKG, 2014). Untuk mewaspadai bahaya gempa bumi, dapat dilakukan penelitian terhadap kondisi tanah atau menentukan daerah-daerah yang memiliki tingkat kerentanan seismik tinggi. Gambar 1

memperlihatkan jumlah total kerusakan bangunan di Propinsi D.I Yogyakarta. Dapat dilihat bahwa kerusakan didominasi pada kawasan yang dilalui oleh Sesar Opak.



Gambar 1. Jumlah kerusakan bangunan akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 (UNOCHA, 2006)

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan indeks kerentanan seismik di antaranya seperti yang dilakukan oleh Saaduddin pada tahun 2009 yaitu dengan judul penelitian Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009, Daryono pada tahun 2011 dengan penelitian tentang Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Bambang Sunardi pada tahun 2012 melakukan penelitian

tentang Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal, pada tahun 2013 Septian Labertta telah melakukan penelitian tentang Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penelitian tentang mikrozonasi indeks kerentanan seismik di seluruh kawasan jalur sesar Opak belum pernah dilakukan sebelumnya.

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan permukaan tanah saat terjadi gempabumi. Data mikrotremor yang terukur dapat dimanfaatkan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini merupakan metode yang membandingkan antara rasio spektrum dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989).

Studi tentang mikrotremor ini dapat digunakan untuk menganalisa karakter tanah yaitu frekuensi alami ( $f_g$ ), faktor amplifikasi ( $A_g$ ), kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), ketebalan sendimen ( $H$ ), dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Dari parameter tersebut dapat dibuat mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas dapat diidentifikasi beberapa permasalahan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Sudah dilakukan penelitian tentang indeks kerentanan seismik namun hanya terfokus di daerah Bantul saja, belum mencakup seluruh kawasan jalur sesar Opak.
2. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik masih dalam skala Kabupaten Bantul, belum mencakup seluruh kawasan jalur sesar Opak.

## **C. Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor dengan koordinat geografis 431943 – 423953 mT dan 448465 – 440463 mT serta 9122346 – 9122346 mU dan 9142346 – 9142346 mU.
2. Mikrotremor diukur menggunakan seismometer tipe TDV-23S dan TDS-303 (*Digital Portable Seismograph*) dan data mikrotremor diolah menggunakan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).
3. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*.
4. Analisis dilakukan berdasarkan nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan nilai kecepatan gelombang geser di bawah permukaan tanah.



#### **D. Rumusan masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak?
2. Bagaimana mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan Jalur Sesar Opak?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai indeks kerentanan seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak.
2. Mengetahui mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan Jalur Sesar Opak.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitan yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi dan gambaran tentang mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak.
2. Memberikan informasi kepada Pemerintah daerah setempat dalamantisipasi bencana serta pembangunan dan pengembangan infrastruktur daerah setempat.

3. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah pengalaman dan menambah ilmu pengetahuan kepada peneliti dalam bidang ilmu kegempaan.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Dasar Teori**

##### **1. Gempabumi**

Gempabumi adalah getaran pada Bumi yang disebabkan oleh pergerakan tiba-tiba akibat patahnya batuan yang mengalami regangan melampaui batas elastisitasnya (Benyamin, *et al.*, 2014). Teori kekenyalan elastis (*elastic rebound theory*) menyatakan bahwa gempabumi merupakan gejala alam yang diakibatkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan (*elastically-strained rock*) pada litosfir secara mendadak, semakin besar energi yang dilepaskan maka semakin kuat gempa yang terjadi (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

Berdasarkan kedalamannya, gempabumi dapat dikelompokkan menjadi (Ibrahim dan Subardjo, 2005):

1. Gempabumi dalam, yaitu gempa bumi yang jarak atau kedalaman hiposentrumnya lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi.
2. Gempabumi menengah, yaitu gempa bumi yang jarak atau kedalaman hiposentrumnya berada antara 70 km dan 300 km di bawah permukaan bumi.
3. Gempabumi dangkal, yaitu gempa bumi yang jarak atau kedalaman hiposentrumnya kurang dari 70 km di bawah permukaan bumi.

## **2. Sejarah Kegempaan di Wilayah Yogyakarta**

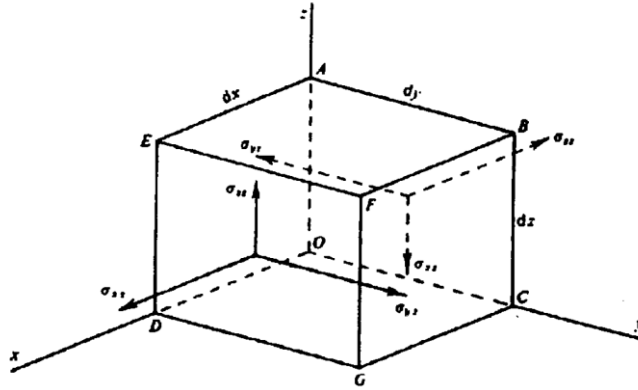
Berdasarkan catatan sejarah kegempaan Jawa, daerah Yogyakarta mengalami beberapa kali gempabumi yang merusak di antaranya (Daryono, 2010 dan Supartoyo, 2016):

- Pada tahun 1867 terjadi gempabumi besar yang menyebabkan kerusakan bangunan sebanyak 372 buah bangunan dan menelan korban jiwa sebanyak 5 orang,
- Tahun 1943 terjadi gempabumi tektonik yang menelan korban jiwa sebanyak 213 orang, 2096 orang luka-luka dan 28000 bangunan hancur.
- Tahun 1981 terjadi gempabumi tektonik yang bersumber di laut akibat aktivitas zona subduksi mengakibatkan pondasi hotel Ambarukmo retak dan diduga sejumlah bangunan tua juga mengalami retakan dinding.
- Terakhir tanggal 27 Mei 2006 gempa dengan kekuatan 5,9 SR yang bersumber di darat mengakibatkan bencana di wilayah Bantul, Prambanan dan Klaten. Gempabumi ini menewaskan lebih dari 5000 jiwa dan melukai lebih dari 20.000 jiwa, sementara jumlah kerusakan bangunan lebih dari 100.000 buah (BAPPENAS, 2006).

Melihat dari gempabumi tahun 1867, 1943, 1981, dan 2006 di mana banyak terjadi kerusakan yang melanda wilayah Yogyakarta dan sekitarnya, kemungkinan besar disebabkan oleh pergerakan sistem sesar di wilayah Yogyakarta yang berarah barat daya hingga timur laut.

### 3. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan Bumi akibat adanya gangguan.



Gambar 2. Komponen-komponen gaya pada medium berbentuk kubus (Telford *et al.*, 2004)

Ditinjau medium berbentuk kubus yang dikenakan sebuah gaya tertentu. Tegangan ( $\sigma$ ) yang mengenai benda tersebut jika ditinjau pada salah satu permukaannya mempunyai komponen-komponen sebagai berikut:

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (1)$$

Komponen komponen tegangan di atas disebut gaya tiap satuan volume benda pada bidang  $x$  yang memiliki arah pada sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Untuk permukaan bidang yang lain, hubungan variabel gaya tiap satuan volumenya analog dengan kasus pada bidang  $x$ . Total gaya pada sumbu  $x$  yang terjadi pada benda (medium) berbentuk kubus adalah :

$$F = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2)$$



dengan  $dx dy dz$  adalah satuan volume kubus. Menurut Hukum II Newton, gaya adalah perkalian antara massa benda ( $m$ ) dan percepatannya ( $a$ ). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas benda  $\rho = m/V$ , maka

$$F = ma = \rho Va = \rho(dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) \quad (3)$$

Dengan menggunakan definisi gaya pada persamaan (3), persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan (4).

$$\begin{aligned} \rho(dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Hubungan pada persamaan (4) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu  $x$ . Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah lainnya.

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) adalah (Telford *et al.*, 2004):

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu \epsilon_{ii} \quad , \quad i = x, y, z \quad (5)$$

$$\sigma_{ij} = \mu \epsilon_{ij} \quad , \quad i \neq j \quad (6)$$

dengan

$$\epsilon_{xy} = \epsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} ; \epsilon_{yz} = \epsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} ; \epsilon_{zx} = \epsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (7)$$

$u, v, w$  menunjukkan komponen perpindahan partikel,  $\lambda'$  adalah konstanta Lamé,  $\mu$  merupakan modulus geser ( $N/m^2$ ), dan  $\Delta$  menunjukkan regangan volume atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (8).

$$\Delta = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (8)$$

Dengan menerapkan persamaan (5), (6), dan (7) maka persamaan (4) dapat diubah menjadi persamaan (9) :

$$\rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (9)$$

dengan  $\nabla^2 u = \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$ .

Dengan menggunakan cara yang sama, persamaan (9) dapat diterapkan pada kasus pergerakan partikel searah sumbu  $y$  dan  $z$  sebagai berikut.

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (10)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (11)$$

dengan  $u, v, w$  secara berurutan menunjukkan pergeseran partikel pada arah sumbu  $x$ , sumbu  $y$ , dan sumbu  $z$ .

Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (9), (10), dan (11) masing-masing terhadap  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Berdasarkan persamaan (9) dapat diperoleh persamaan (12).

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + 2\mu) \nabla^2 \Delta \\ \frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \nabla^2 \Delta \end{aligned} \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang seismik longitudinal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-P ( $v_p$ ) sebagai:

$$v_p = \left( \frac{\lambda' + 2\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Untuk mendapatkan persamaan gelombang transversal atau gelombang seismik S, persamaan (10) didiferensialkan terhadap  $z$  dan persamaan (11) didiferensialkan terhadap  $y$ . Hasil pendiferensialan persamaan (10) dikurangi dengan hasil pendiferensialan persamaan (11) menghasilkan:

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (14)$$

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (15) sebagai (Telford *et al.*, 2004):

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} ; \quad \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} ; \quad \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (15)$$

Dengan menerapkan persamaan (15) pada persamaan (14), didapatkan persamaan:

$$\frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta_x \quad (16)$$

$\theta_x$  mengambarkkan gerakan rotasi tegak lurus terhadap sumbu  $x$ , sedangkan arah perambatan gelombangnya searah dengan sumbu  $x$ . Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu  $y$  dan sumbu  $z$  digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan:

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_y) = \mu \nabla^2 (\theta_y) \quad (17)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_z) = \mu \nabla^2 (\theta_z) \quad (18)$$

Persamaan (16), (17), dan (18) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (16) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-S sebagai:

$$v_s = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang Badan

Menurut Waluyo (1996), gelombang badan merambat dalam badan medium. Gelombang badan dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni:

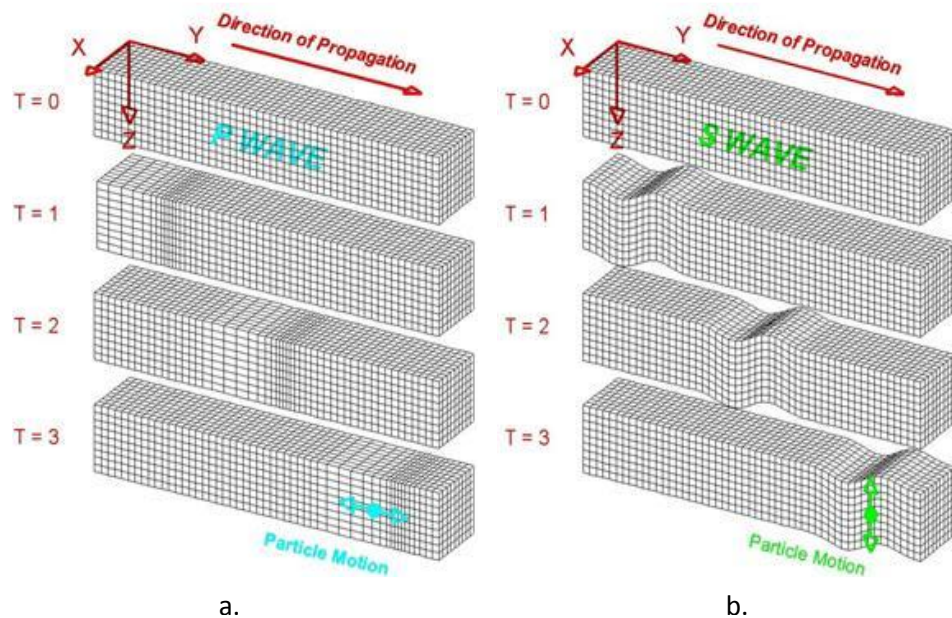
1. Gelombang Primer (P)

Gelombang primer (P) merupakan gelombang longitudinal atau gelombang kompresional, gerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang P mempunyai kecepatan paling tinggi, arah gerakan partikel gelombang P searah dengan arah rambat gelombangnya. Gelombang menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas. Kecepatan penjalaran gelombang P seperti pada persamaan (13).

2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder menjalar lebih lambat daripada gelombang P. Arah gerakan partikel gelombang S tegak lurus dengan arah rambat gelombangnya seperti pada Gambar 3b. Gelombang S hanya dapat menjalar pada medium padat. Gelombang S terbagi menjadi dua yaitu komponen horizontal (SH) dan komponen vertikal (SV). Kecepatan gelombang S seperti pada persamaan (19).

Gelombang SV adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang vertikal. Gelombang SH adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang horizontal.



Gambar 3. Ilustrasi gerakan partikel (a) gelombang P, (b) gelombang S (Braile, 2006)

#### b. Gelombang permukaan

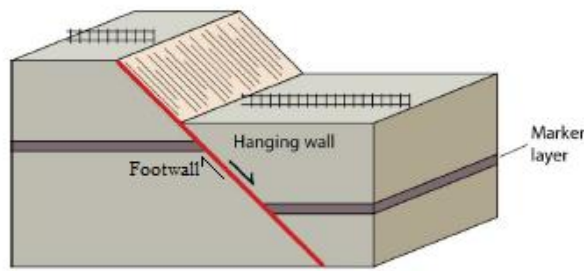
Gelombang permukaan merupakan gelombang elastik yang menjalar sepanjang permukaan bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan, sehingga gelombang permukaan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan daripada gelombang badan. Amplitudo gelombang permukaan akan mengecil dengan cepat terhadap kedalaman. Hal ini diakibatkan oleh adanya dispersi pada gelombang permukaan, yaitu penguraian gelombang berdasarkan panjang gelombangnya sepanjang

perambatan gelombang (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Gelombang permukaan terdiri dari beberapa tipe, yaitu

- Gelombang *Love* : gelombang ini merambat pada permukaan bebas medium berlapis, dengan arah gerakan sama dengan gelombang SH.
- Gelombang *Rayleigh* : gelombang ini menjalar pada permukaan bebas pada medium berlapis maupun medium homogen, dengan gerakan partikel berbentuk *ellipsoid* vertikal, yang sejajar dengan arah gerak gelombang.
- Gelombang *Stonely* : gelombang merambat pada bidang batas antara dua medium (gelombang antar permukaan atau *interface wave*) dengan gerakan partikel sama dengan gelombang SV.

#### **4. Sesar (*Fault*)**

Sesar adalah suatu rekahan pada batuan yang mengalami pergerakan yang sejajar dengan bidangnya. Pada umumnya tidak mungkin dapat mengetahui seberapa besar pergerakan yang terjadi di samping sesar dan blok bagian mana yang bergerak dan yang diam, sehingga untuk klasifikasi pergeseran sesar dipergunakan istilah pergeseran relatif, karena tidak diketahui blok mana yang bergerak relatif terhadap sisi lainnya. Pergeseran salah satu sisi melalui bidang sesar membuat salah satu blok relatif naik, turun atau mendatar terhadap lainnya (Benyamin, *et al.*, 2014). Blok yang berada di atas bidang sesar disebut blok *hanging wall* sedangkan yang di bawah disebut blok *foot wall*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sesar (Van der pluijm, 2004)

Berdasarkan arah gerak blok batuan di sepanjang bidang patahan, bentuk patahan dapat diklasifikasikan menjadi (Benyamin, *et al.*, 2014):

(1) Sesar Normal (*Normal Fault*)

Sesar normal disebut juga sesar turun adalah sesar yang arah gerak blok batuan mengikuti arah gerak batuan yang menuju ke bawah sepanjang bidang patahan.

(2) Sesar Naik (*Reverse Fault*)

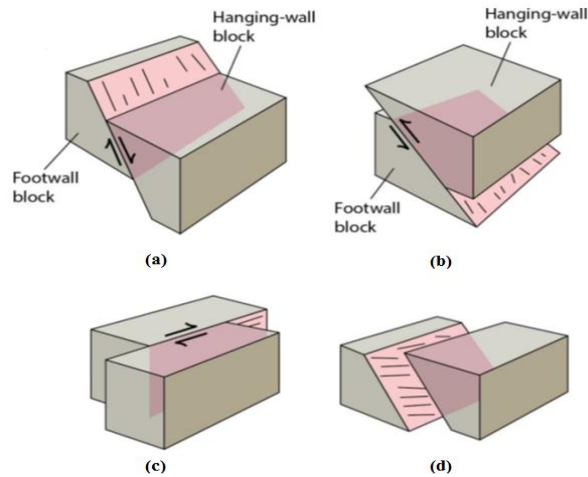
Sesar yang arah gerak blok batuan berlawanan dengan arah gerak patahan normal, yaitu mengarah ke atas.

(3) Sesar Mendatar (*Strike-slip Fault*)

Sesar mendatar disebut juga sebagai sesar geser. Sesar ini terjadi akibat bekerjanya *shear stress* dengan arah gerak utama sesar ini adalah horizontal dan sejajar dengan bidang sesarnya.

(4) Sesar *Oblique* (*Oblique slip Fault*)

Sesar ini adalah gabungan dari *normal fault* dan *strike-slip fault*. Terjadinya sesar ini disebabkan oleh gaya tekan dari atas atau dari bawah, dan gaya samping yang diberikan pada batuan.



Gambar 5. Jenis-jenis sesar, (a) Sesar Normal, (b) Sesar Naik, (c) Sesar Mendatar, (d) Sesar *Oblique* (Van der pluijm, 2004)

Salah satu sesar aktif di pulau Jawa adalah sesar Opak di Daerah Istimewa Yogyakarta. Menurut peta geologi lembar Yogyakarta (Raharjo, *et al.*, 1995), terlihat sesar Opak berarah timur laut – barat daya. Sesar Opak ini merupakan sesar normal atau sesar turun (Rovicky, 2010). Kedalaman sesar Opak berkisar 55 hingga 82 meter dan pergeserannya 5 hingga 10 meter (Wijaksono, 2008). Pergerakan sesar Opak diduga terjadi karena desakan lempeng Indo-Australia pada bagian daratan wilayah Yogyakarta. Struktur lapisan sesar Opak terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan batuan gamping, batuan breksi dan batuan penutup permukaan yang meliputi endapan alluvial dan endapan sungai Opak (Nurwidyanto, 2007). Bukti adanya sesar Opak yang terlihat salah satunya adalah Sungai Opak. Ketika terjadi gempabumi maka daerah yang paling terkena dampak besar kerusakan yaitu daerah sekitar jalur sesar Opak, karena selain adanya sesar, formasi geologinya juga berpengaruh pada kerusakan.



## 5. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu dari aktivitas manusia dan alam (Nakamura, 2000). Menurut Okada (2004), mikrotremor merupakan getaran konstan dari permukaan Bumi. Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah.

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar 0,1-1  $\mu\text{m}$  dan kecepatan getaran antara 0,001 hingga 0,1 cm/s. Mikrotremor diklasifikasikan berdasarkan periode menjadi dua jenis, periode pendek dengan nilai kurang dari 1 detik yang disebabkan oleh aktivitas manusia, dan mikrotremor periode panjang dengan nilai periode lebih dari 1 detik, getaran ini disebabkan oleh badai dan gelombang laut (Mirzaoglu *et al.*, 2003)

## 6. HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Nakamura (1989) mengembangkan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mengestimasi nilai frekuensi dan amplifikasi keadaan geologi setempat dengan membandingkan spektrum horizontal dengan spektrum vertikalnya untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan pada suatu daerah. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dasar lapisan lunak. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi alami dasar medium pada lapisan yang lunak (*soft soil*). Perbandingan tersebut dapat didefinisikan seperti pada persamaan (20) (Nakamura, 2000):

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (20)$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum komponen horizontal,  $S_{VS}$  adalah spektrum komponen vertikal dan  $T_{SITE}$  adalah struktur geologi lokal atau *site effect*.

Faktor amplifikasi dari gerakan komponen horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$  (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal  $T_H$  adalah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (21)$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum dari komponen horizontal di permukaan tanah,  $S_{HB}$  adalah spektrum dari komponen horizontal pada dasar lapisan tanah.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode HVSR adalah sebagai berikut (Bour *et al*, 1998) :

1. Data mikrotremor terdiri atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar.
2. Efek dari gelombang Rayleigh terdapat pada spektrum komponen vertikal pada lapisan sedimen ( $S_{VS}$ ), tetapi tidak terdapat pada spektrum komponen vertikal di lapisan batuan dasar ( $S_{VB}$ ).
3. Komponen vertikal mikrotremor tidak teramplifikasi oleh lapisan sedimen, sehingga besar dari efek gelombang Rayleigh pada komponen vertikal mikrotremor:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (22)$$

4. Efek gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor digunakan untuk komponen vertikal dan horizontal pada rentang frekuensi (0,2 – 20,0 Hz), sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (23)$$

jika dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (24)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang *Rayleigh* dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* ( $T_{SITE}$ ).  $T_{SITE}$  menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi. Inilah konsep dasar metode HVSR yang dinyatakan dalam persamaan (25):

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (25)$$

dengan memasukkan persamaan (21), (22) ke persamaan (25), diperoleh persamaan (20). Rumusan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (HVSR), sehingga persamaan (20) menjadi persamaan (26).

$$HVS\!R = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{vertikal}} \quad (26)$$

Metode HVSR sangat berguna untuk mengidentifikasi respon resonansi cekungan yang berisi material sedimen. Fenomena resonansi dalam lapisan sedimen adalah terjebaknya gelombang seismik di lapisan permukaan karena adanya kontras impedansi antara lapisan sedimen dengan batuan keras yang lebih dalam. Interferensi antara gelombang seismik yang terjebak pada lapisan sedimen berkembang menuju pola resonansi yang berkenaan dengan karakteristik lapisan sedimen (Daryono, 2009).

Mengingat hasil pengolahan data mikrotremor bersifat subjektif, maka digunakan kriteria yang telah ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*. HVSR merupakan salah satu cara paling mudah dan paling murah untuk memahami sifat struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut.

## 7. Mikrozonasi

Mikrozonasi merupakan upaya untuk mengevaluasi dan memetakan atau menggambarkan potensi bencana di suatu daerah, yang pada umumnya disebabkan oleh getaran tanah yang kuat selama gempabumi. Bahaya ini meliputi: amplifikasi gerakan tanah, likuifaksi dan potensi tanah longsor. Likuifaksi adalah proses saat lapisan sedimen kehilangan kekuatan dan lebih bersifat sebagai cairan kental daripada padatan (Septian, 2013).

Peta mikrozonasi digunakan untuk menggambarkan potensi terjadinya bahaya bencana alam. Apabila peta mikrozonasi dikombinasikan dengan informasi data mikrotremor suatu daerah, maka dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai strategi penanggulangan bencana alam (Fitria, 2014). Peta mikrozonasi ini dapat dibuat dengan menggunakan beberapa *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk membuat peta mikrozonasi yaitu *software* Surfer 12.

Hasil dari mikrozonasi ini menunjukkan bahwa ketika terjadi getaran tanah yang kuat, maka kerusakan yang tinggi mungkin terjadi pada daerah yang memiliki kerentanan seismik tinggi. Informasi yang ada dalam peta bencana suatu daerah tertentu tidak bisa dijadikan sebagai acuan untuk mengevaluasi daerah lainnya, dikarenakan setiap daerah memiliki peta bencana tersendiri sesuai dengan karakteristik tanah dan batuanannya (Wang, 2008).

## 8. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu formula matematis yang mentransformasikan fungsi dalam kawasan waktu menjadi fungsi lain dalam kawasan frekuensi. Transformasi Fourier  $X(f)$  dari waktu kontinyu  $x(t)$  adalah sebagai berikut (Lyons, 1997):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (27)$$

dengan  $x(t)$  adalah fungsi dalam kawasan waktu,  $e^{-j2\pi ft}$  adalah fungsi kernel, dengan  $j = \sqrt{-1}$ ,  $X(f)$  adalah fungsi dalam kawasan frekuensi,  $f$  dalam Hz dan  $t$  sekon.

Kemudian dari persamaan (27) akan memiliki nilai apabila terpenuhinya syarat :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (28)$$

Untuk mendapatkan kembali sinyal domain waktu, perlu invers pada transformasi Fourier seperti pada persamaan (29):

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df \quad (29)$$

a. *Discrete Fourier Transform* (DFT)

DFT merupakan metode atau algoritma untuk mengetahui komponen-komponen frekuensi harmonik beserta amplitudonya dari sebuah sinyal periodik atau merupakan deret Fourier. DFT dapat diaplikasikan untuk analisis frekuensi dari sebuah rangkaian sinyal domain waktu (Tan, 2008). Persamaan DFT diperoleh dengan cara mengubah notasi integral pada persamaan (27) menjadi notasi sigma dengan substitusi  $T_0 = NT$ ,  $f_0 = 1/T_0$ ,  $dt = T$  dan  $t = nT$ , sehingga menjadi

$$a_t = \frac{1}{NT} x(t) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \quad (30)$$

sehingga dapat didefinisikan sebagai:

$$X(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \quad (31)$$

dengan  $k$  adalah indeks dalam domain frekuensi, sinyal input  $x(n)$  dengan indeks waktu diskrit  $n$ , dan panjang data  $N$ .

b. *Fast Fourier Transform* (FFT)

Algoritma untuk proses pengolahan sinyal lain yang lebih cepat adalah *Fast Fourier Transform* (FFT). Dalam FFT terdapat dua algoritma yaitu *decimation in frequency algorithm* (DIF) dan *decimation in time algorithm* (DIT). Kedua algoritma tersebut merujuk pada algoritma FFT *radix*, yang merupakan metode dalam FFT yang digunakan untuk pengolahan sinyal sehingga lebih efisien dan cepat (Tan, 2008). Bermula dari persamaan (31), misal  $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$  sebagai faktor *twiddle* dan  $N = 2, 4, 6, 8, 16, \dots, 2^m$  dapat dikembangkan sebagai:

$$X^d[k] = x[0] + x[1]W_N^{k(1)} + x[2]W_N^{k(2)} + \dots + x[N-1]W_N^{k(N-1)} \quad (32)$$

selanjutnya  $x(n)$  dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil, persamaan (32) dapat diubah menjadi persamaan (33):

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{(2n+1)k} \quad (33)$$

Persamaan (33) dapat juga ditulis

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{2nk} \quad (34)$$

Karena  $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$ , persamaan (34) dapat diubah menjadi

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (35)$$

dengan  $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$ . Persamaan (35) dapat pula ditulis sebagai fungsi baru sebagai :

$$X[n] = G[k] + W_N^k H(k) \quad (36)$$

dengan  $G[k]$  dan  $H[k]$  didefinisikan pada persamaan (37) dan (38).

$$G[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (37)$$

$$H[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (38)$$

Setelah domain waktu dibagi dua, maka domain frekuensi juga dibagi dua, sehingga persamaan (37) akan menjadi  $G[k] = G\left[k + \frac{N}{2}\right]$  dan persamaan (38) menjadi  $H[k] = H\left[k + \frac{N}{2}\right] = H[k]$ , dan karena  $W_N^{k+\frac{N}{2}} = -W_N^k$  akan didapatkan persamaan (39).

$$X\left[n + \frac{N}{2}\right] = G[k] - W_N^k H(k) \quad (39)$$

Persamaan (34) dan (39) dikenal dengan FFT *radix-2 Decimation In Time* (DIT), dengan cara membagi data menjadi dua bagian, yaitu bagian genap dan bagian ganjil. Selain itu FFT *radix-2* juga dapat didekati dengan pendekatan matrik.

Persamaan (40) merupakan susunan matrik DFT untuk  $N = 8$ .

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^4 & W_8^5 & W_8^6 & W_8^7 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^8 & W_8^{10} & W_8^{12} & W_8^{14} \\ 1 & W_8^3 & W_8^6 & W_8^9 & W_8^{12} & W_8^{15} & W_8^{18} & W_8^{21} \\ 1 & W_8^4 & W_8^8 & W_8^{12} & W_8^{16} & W_8^{20} & W_8^{24} & W_8^{28} \\ 1 & W_8^5 & W_8^{10} & W_8^{15} & W_8^{20} & W_8^{25} & W_8^{30} & W_8^{35} \\ 1 & W_8^6 & W_8^{12} & W_8^{18} & W_8^{24} & W_8^{30} & W_8^{36} & W_8^{42} \\ 1 & W_8^7 & W_8^{14} & W_8^{21} & W_8^{28} & W_8^{35} & W_8^{42} & W_8^{49} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (40)$$

Periodisitas dan simetri dari matrik DFT dapat digambarkan sebagai sebuah fasor untuk setiap  $W_N^{kn}$ . Untuk  $W^8$  direpresentasikan dengan sudut fasor 0 yang



ditunjukkan dengan panah mengarah ke atas dan rotasi fasor searah dengan jarum jam, seperti ditunjukkan pada matrik (41) (Manolakis dan Ingle, 2011).

$$W_8 = \begin{bmatrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \uparrow & \nearrow & \rightarrow & \searrow & \downarrow & \swarrow & \leftarrow & \nwarrow \\ \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow & \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow \\ \uparrow & \searrow & \leftarrow & \nearrow & \downarrow & \nwarrow & \rightarrow & \swarrow \\ \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow \\ \uparrow & \swarrow & \rightarrow & \nwarrow & \downarrow & \nearrow & \leftarrow & \searrow \\ \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow & \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow \\ \uparrow & \nwarrow & \leftarrow & \swarrow & \downarrow & \searrow & \rightarrow & \nearrow \end{bmatrix} \quad (41)$$

Selanjutnya susunan matrik pada persamaan (40) dapat mengikuti susunan perioditas pada persamaan matrik (41), sehingga dapat dituliskan sebagai :

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^4 & W_8^5 & W_8^6 & W_8^7 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & 1 & W_8^{10} & W_8^{12} & W_8^{14} \\ 1 & W_8^3 & W_8^6 & W_8^9 & W_8^{12} & W_8^{15} & W_8^{18} & W_8^{21} \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^{12} & 1 & W_8^{20} & 1 & W_8^{28} \\ 1 & W_8^5 & W_8^{10} & W_8^{15} & W_8^{20} & W_8^{25} & W_8^{30} & W_8^{35} \\ 1 & W_8^6 & W_8^{12} & W_8^{18} & 1 & W_8^{30} & W_8^{36} & W_8^{42} \\ 1 & W_8^7 & W_8^{14} & W_8^{21} & W_8^{28} & W_8^{35} & W_8^{42} & W_8^{49} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (42)$$

dengan memasukkan nilai  $W_8^4 = -1$ , maka suku genap dan ganjil pada matrik (42) dapat dikelompokkan, sehingga susunan matrik (43) dapat ditulis sebagai :

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & W_8 & W_8^3 & W_8^5 & W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^6 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^3 & W_8 & W_8^7 & W_8^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & -W_8 & -W_8^3 & -W_8^5 & -W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 & -W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^2 & -W_8^6 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 & -W_8^3 & -W_8 & -W_8^7 & -W_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[2] \\ x[4] \\ x[6] \\ x[1] \\ x[3] \\ x[5] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (43)$$

Matriks pada persamaan (43) dapat dipecah menjadi dua bagian sehingga ditulis menjadi persamaan (44).

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^2 \\ 1 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^2 \\ 1 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[2] \\ x[4] \\ x[6] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ W_8 & W_8^3 & W_8^5 & W_8^7 \\ W_8^2 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^6 \\ W_8^3 & W_8 & W_8^7 & W_8^5 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -W_8 & -W_8^3 & -W_8^5 & -W_8^7 \\ -W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^2 & -W_8^6 \\ -W_8^3 & -W_8 & -W_8^7 & -W_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[1] \\ x[3] \\ x[5] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (44)$$

Dengan cara yang sama, dapat pula disusun FFT *radix*-4. Persamaan DFT untuk panjang data  $N$  dibagi menjadi empat bagian menjadi seperti berikut.

$$\begin{aligned} X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n] W_N^{4nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1] W_N^{(4n+1)k} \\ & + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2] W_N^{(4n+2)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3] W_N^{(4n+3)k} \end{aligned} \quad (45)$$

Selanjutnya persamaan (45) di atas dapat diuraikan menjadi

$$\begin{aligned} X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n] W_N^{4nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1] W_N^{4nk} \\ & + W_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2] W_N^{4nk} + W_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3] W_N^{4nk} \end{aligned} \quad (46)$$

dengan adanya definisi  $W_N^4 = W_{N/4}$  persamaan (46) dapat diubah menjadi

$$\begin{aligned} X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n] W_{\frac{N}{4}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1] W_{\frac{N}{4}}^{nk} \\ & + W_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2] W_{\frac{N}{4}}^{nk} + W_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3] W_{\frac{N}{4}}^{nk} \end{aligned} \quad (47)$$

*Radix*-4 merupakan pengelompokan kembali suku genap dan ganjil yang berawal dari *radix*-2, dengan menggunakan  $N = 8$ , maka matrik *radix*-4 menjadi

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & W_8 & W_8^5 & W_8^3 & W_8^7 \\ 1 & 1 & W_8^4 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^2 & W_8^6 & W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^7 & W_8 & W_8^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & -W_8 & -W_8^5 & -W_8^3 & -W_8^7 \\ 1 & 1 & W_8^4 & W_8^4 & -W_8^2 & -W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^2 & -W_8^3 & -W_8^7 & -W_8 & -W_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[4] \\ x[2] \\ x[6] \\ x[1] \\ x[5] \\ x[3] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (48)$$

Selanjutnya persamaan matrik (48) dapat dipecah menjadi

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[4] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ W_8^2 & W_8^6 \\ W_8^4 & W_8^4 \\ W_8^6 & W_8^2 \\ 1 & 1 \\ W_8^2 & W_8^6 \\ W_8^4 & W_8^4 \\ W_8^6 & W_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[2] \\ x[6] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ W_8 & W_8^5 \\ W_8^2 & W_8^2 \\ W_8^3 & W_8^7 \\ -1 & -1 \\ -W_8 & -W_8^5 \\ -W_8^2 & -W_8^2 \\ -W_8^3 & -W_8^7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[1] \\ x[5] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ W_8^3 & W_8^7 \\ W_8^6 & W_8^6 \\ W_8 & W_8^5 \\ -1 & -1 \\ -W_8^3 & -W_8^7 \\ -W_8^6 & -W_8^6 \\ -W_8 & -W_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[3] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (49)$$

## 9. Penghalusan data

Penghalusan data atau *smoothing* adalah suatu proses untuk menghaluskan pola data sehingga hasil *smoothing* tidak akan memiliki hasil jauh berbeda dengan pola data awal. Penghalusan data yang dipakai dikembangkan oleh Konno-Ohmachi (1998). Penghalusan data ini berdasarkan persamaan Konno-Ohmachi (Konno dan Ohmachi,1998):

$$W(\omega; \omega_0) = \frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)}{\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)^4} \quad (50)$$

dengan  $\omega$  adalah frekuensi,  $\omega_0$  adalah frekuensi pusat dilakukannya penghalusan data, dan  $b$  adalah koefisien *bandwidth*, yaitu faktor penambahan yang mengontrol pengalusan data. Nilai  $b$  yang kecil akan menghasilkan penghalusan data yang

signifikan, sedangkan nilai  $b$  yang besar akan menghasilkan penghalusan data yang lebih rendah. Nilai  $b$  yang direkomendasikan adalah 40 (Konno dan Ohmachi,1998).

## 10. Indeks Kerentanan seismik

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi (Nakamura, 2008). Indeks kerentanan seismik didapat dari pergeseran regangan permukaan tanah dan strukturnya saat terjadi gempabumi. Menurut Nakamura (2008), kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi terjadi pada saat gaya gempabumi melebihi batas dari regangan (*strain*) sehingga terjadi deformasi lapisan tanah permukaan.

Pada kondisi regangan, indeks kerentanan seismik dapat didefinisikan dalam skala  $10^{-6} /(\text{cm/s}^2)$ . Dalam penentuan indeks kerentanan seismik perlu diperhatikan *shear strain* pada permukaan tanah. Besarnya pergeseran regangan tanah dapat dihitung dengan persamaan (Nakamura,1997):

$$\gamma = \frac{A_g \delta}{H} \quad (51)$$

dimana  $A_g$  adalah faktor amplifikasi,  $\delta$  adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah ( $m$ ), dan  $H$  adalah ketebalan lapisan tanah ( $m$ ). Kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah dan pada permukaan tanah masing-masing disimbolkan sebagai  $V_b$  dan  $V_s$ . Besar frekuensi dominan ( $f_g$ ) pada permukaan tanah dirumuskan sebagai (Nakamura,1997):

$$f_g = \frac{V_s}{4H} \quad (52)$$

maka besar ketebalan lapisan adalah

$$H = \frac{V_s}{4f_g} \quad (53)$$

Besarnya frekuensi dominan di bawah permukaan tanah adalah

$$f_g = \frac{V_b}{4A_gH} \quad (54)$$

Percepatan gelombang di batuan dasar  $a_b$  dapat dirumuskan sebagai:

$$a_b = (2\pi f_g)^2 \delta \quad (55)$$

apabila  $\gamma$  pada persamaan (51) dirumuskan dengan memasukkan persamaan (54)

dan (55), maka diperoleh

$$\gamma = \frac{A_g a_b}{(2\pi f_g)^2} \frac{4A_g f_g}{V_b} = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{a_b}{\pi^2 V_b} \quad (56)$$

Jika efisiensi dari penerapan gaya dinamis yang berpengaruh terhadap regangan adalah sebesar  $e\%$  dari gaya statis, maka besarnya regangan efektif  $\gamma_e$  adalah

$$\gamma_e = K_g (e) a_b \quad (57)$$

sehingga

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{1}{(\pi^2 V_b)} \quad (58)$$

Nilai dari  $V_b$  mendekati nilai konstan di suatu daerah dan  $K_g$  adalah nilai yang ditentukan pada suatu titik, sehingga  $K_g$  dapat dianggap sebagai indeks kerentanan suatu daerah yang terdeformasi yang diukur pada suatu titik. Dalam penentuan nilai indeks kerentanan seismik suatu daerah, faktor-faktor kondisi geologi daerah setempat perlu dipertimbangkan. Tingkat indeks kerentanan seismik yang tinggi

biasanya ditemukan pada daerah dengan frekuensi resonansi yang rendah (Nakamura, 2008).

## **11. Frekuensi Predominan**

Analisis data mikrotremor dapat memberikan informasi nilai frekuensi dominan. Nilai frekuensi dominan pada suatu tempat dapat digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa sebagai keperluan mitigasi bencana gempa bumi (Tuladhar dkk, 2004). Nilai frekuensi dominan diperoleh dari tampilan kurva H/V hasil dari pengolahan mikrotremor. Nilai frekuensi dominan yang sangat rendah bukan hanya mengakibatkan adanya efek resonansi tetapi juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap bahaya dengan periode yang panjang.

Apabila nilai frekuensi dominan struktur bangunan mendekati nilai frekuensi alami material di bawahnya pada suatu daerah, maka getaran seismik akan membuat resonansi dengan bangunan yang akan meningkatkan stress pada bangunan tersebut sehingga menyebabkan kerusakan bangunan saat terjadi gempabumi.

## **12. Faktor Amplifikasi**

Faktor amplifikasi gempabumi adalah faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu. Ketika gelombang gempa menjalar dari batuan dasar ke atas permukaan tanah maka gelombang ini akan mengalami amplifikasi. Menurut Nakamura *et al.* (2000) nilai faktor

amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor di daerah tersebut.

Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007). Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut.

Klasifikasi faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo (dalam Setiawan, 2009) nilai dapat dibagi ke dalam 4 zona yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Nilai faktor amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat tinggi	$A \geq 9$

### 13. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di 2 (dua) Kabupaten yaitu Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul.

#### a. Kabupaten Sleman

Kabupaten Sleman secara administratif terbagi menjadi 17 kecamatan, 86 desa, dan 1212 dusun. Wilayah Kabupaten Sleman terletak di bagian utara dari Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah, sebelah timur dengan Kabupaten Klaten, Propinsi Jawa Tengah, sebelah selatan dengan Kabupaten Bantul dan Kota Yogyakarta Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan sebelah barat dengan Kabupaten Kulonprogo Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah. Secara geografis menurut Peta Rupa Bumi Indonesia Kabupaten Sleman terletak antara 9166223 – 9133735 mU dan 449941 – 413523 mT. Luas wilayah Kabupaten Sleman adalah 57.482 ha atau 574,82 km<sup>2</sup>.

Berdasarkan satuan formasi, litologi Kabupaten Sleman tersusun atas endapan longsor dari awan panas, endapan gunungapi Merapi Muda, endapan gunungapi Merapi Tua, formasi Sentolo, formasi Nglanggran, formasi Semilir, formasi Kebobutak, formasi andesit tua, formasi Nanggulan, Andesit, Mikrodorit (PemKab Sleman, 2016).

b. Kabupaten Bantul

Kabupaten Bantul secara administratif terbagi menjadi 17 kecamatan, 75 desa, dan 933 dusun. Wilayah Kabupaten Bantul terletak di bagian selatan dari Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang sebelah utara berbatasan dengan Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman, sebelah timur dengan Kabupaten Gunungkidul, sebelah selatan dengan Samudra Hindia, dan sebelah barat dengan



Kabupaten Kulonprogo. Secara geografis menurut Peta Rupa Bumi Indonesia Kabupaten Bantul terletak antara 9112311 – 9139351 mU dan 443928 – 414137 mT. Luas wilayah Kabupaten Sleman adalah 508,85 km<sup>2</sup>.

Kabupaten Bantul tersusun atas tiga jenis batuan beku, batuan sedimen, dan endapan. Berdasarkan sifat-sifat batuanannya dapat dibagi menjadi enam formasi yaitu dimulai dari endapan alluvium pada bagian atas, kemudian endapan gunungapi Merapi Muda, formasi Sentolo, formasi Sambipitu, formasi Nglanggran dan formasi Semilir (PemKab Bantul, 2016).

c. Stratigrafi Daerah Penelitian

1. Endapan Alluvium

Endapan alluvium terdiri dari kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai (Raharjo, *et al.*, 1995). Alluvium sungai berdampingan dengan alluvium rombakan bahan vulkanik.

2. Endapan Gunungapi Merapi Muda

Endapan gunungapi Merapi Muda merupakan hasil rombakan dari gunungapi yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.

3. Formasi Nglanggran

Formasi Nglanggran terdiri dari breksi gunungapi, breksi aliran, aglomerat, lava dan tuf (Raharjo, *et al.*, 1995).

4. Formasi Semilir

Formasi Semilir terdiri dari perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan (Raharjo, *et al.*, 1995).

#### 5. Formasi Wonosari

Formasi Wonosari terdiri atas batugamping terumbu, kalkarenit dan kalkarenit tufan (Raharjo, *et al.*, 1995).

## B. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan di kawasan jalur sesar Opak berupa data mikrotremor. Metode yang digunakan adalah metode HVSR yang membandingkan komponen horizontal dan komponen vertikal. Pada metode HVSR, digunakan dua komponen horizontal dan satu vertikal untuk dibandingkan, komponen horizontal terdiri dari komponen utara-selatan dan barat-timur.

Dalam menentukan besarnya indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) digunakan persamaan (59). Sebelum persamaan tersebut digunakan, perlu diketahui besarnya frekuensi predominn ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ) di setiap titik pengambilan data. Nilai frekuensi predominn ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ) diperoleh dari analisis HVSR menggunakan *Software* MATLAB, sedangkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m ( $V_{s30}$ ) diperoleh dari data USGS yang disesuaikan dengan koordinat penelitian. Nilai ketebalan sedimen ( $H$ ) diperoleh dari persamaan (54). Untuk membuat mikrozonasi berdasarkan data indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) digunakan *software Surfer 12*. Untuk validasi hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan jalur sesar Opak yang didapat maka perlu dilakukan perbandingan dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi 27 Mei 2006 di Yogyakarta.

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

##### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Kegiatan pengambilan data mikrotremor ini dilaksanakan pada tanggal 22 – 26 Januari 2016. Sebelum dimulai pengambilan data, telah dilakukan studi literatur dan survei di lokasi penelitian yang dimulai pada bulan Oktober 2015.

Pengambilan data mikrotremor secara langsung dilakukan di jalur Sesar Opak dari Kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul sampai dengan Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman sebanyak 35 titik penelitian dengan jarak antar titik penelitian 2 km dan data sekunder sebanyak 46 titik penelitian.

##### **B. Variabel Penelitian**

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Variabel Bebas : titik lokasi pengambilan data.
2. Variabel Kontrol : frekuensi *sampling* (Hz).
3. Variabel Terikat : frekuensi dominan tanah ( $f_g$ ), faktor amplifikasi ( $A$ ), kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah ( $V_b$ ), kecepatan pergeseran di permukaan tanah ( $V_s$ ), dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).

### C. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. MATLAB R2008a berfungsi untuk menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSJ).
- b. *Sessaray-Geopsy* untuk memilih gelombang tanpa noise (*windowing*).
- c. *Google Earth* untuk mengetahui letak titik awal daerah penelitian.
- d. *Global Mapper 13* berfungsi untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS.
- e. *Microsoft Office 2013* berfungsi untuk menyusun dan mengolah data.
- f. *Surfer 12* digunakan untuk membuat mikrozonasi.

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S untuk merekam getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- b. *Seismometer* tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- d. Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable Seismograph* berfungsi menerima data lokasi dan waktu dari satelit.

- e. Kabel untuk menghubungkan *Digital Portable Seismograph* dengan *Seismometer*.
- f. Kompas digunakan untuk menentukan arah pada saat memasang *seismometer*.
- g. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis data mikrotremor.
- h. Lembar *check list* survey mikrotremor.
- i. Peta “Geologi Regional Yogyakarta dan Sekitarnya” dan Peta “Geologi Regional Surakarta” sebagai bahan analisis geologi.

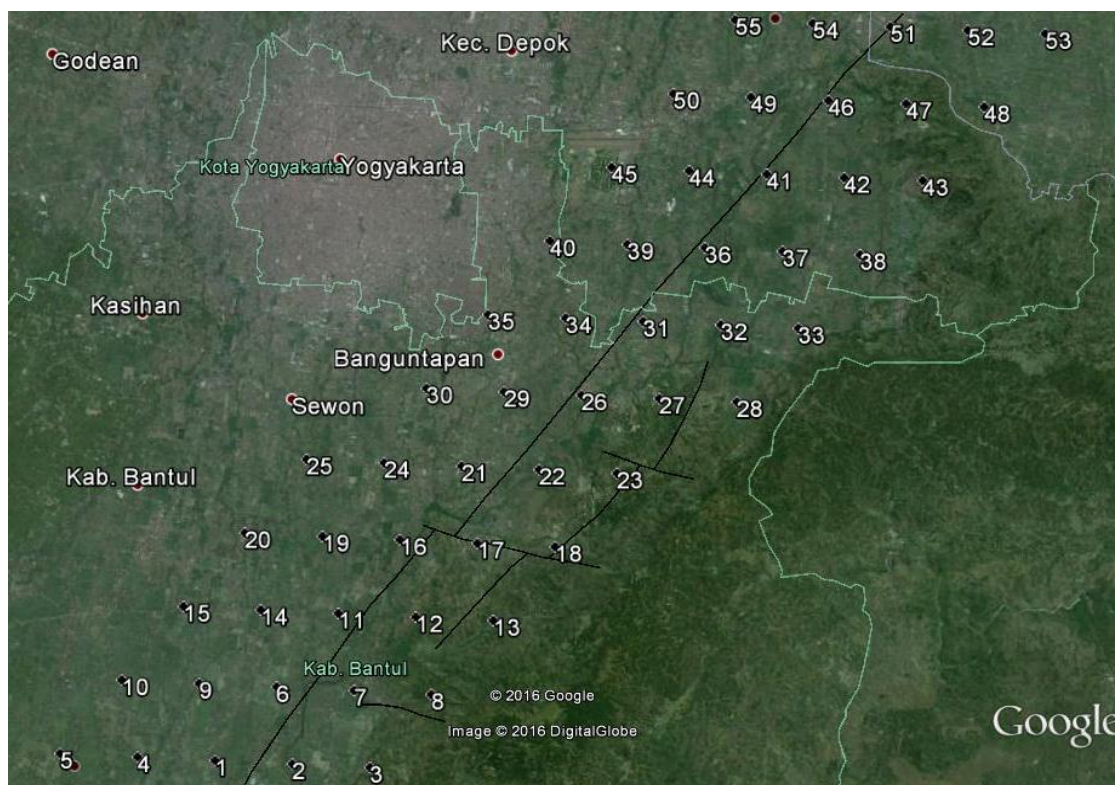


Gambar 6. Peralatan pengukuran mikrotremor (a) Seismometer (b) GPS antena  
(c) Laptop (d) Kabel (e) Digitizer (f) Kompas (g) GPS

#### D. Teknik Pengambilan Data

##### 1. Tahap desain survei

Pada tahap desain survei, dengan menggunakan *software Google Earth* ditentukan lokasi pengambilan data yang berada di jalur sesar Opak. Penentuan titik pengambilan data mikrotremor dilakukan secara *grid* dengan spasi 2 km, hal ini bertujuan supaya pengambilan data dapat mewakili keadaan seluruh kawasan jalur sesar Opak, sehingga ditetapkan ada sebanyak 55 titik penelitian. Desain survei dibuat dengan mengacu pada peta geologi Yogyakarta dengan skala 1:100000. Peta lokasi pengambilan data mikrotremor berupa peta informasi geologi Yogyakarta yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta lokasi pengambilan data

Tabel 3. Syarat Penelitian Mikrotremor (SESAME, 2004)

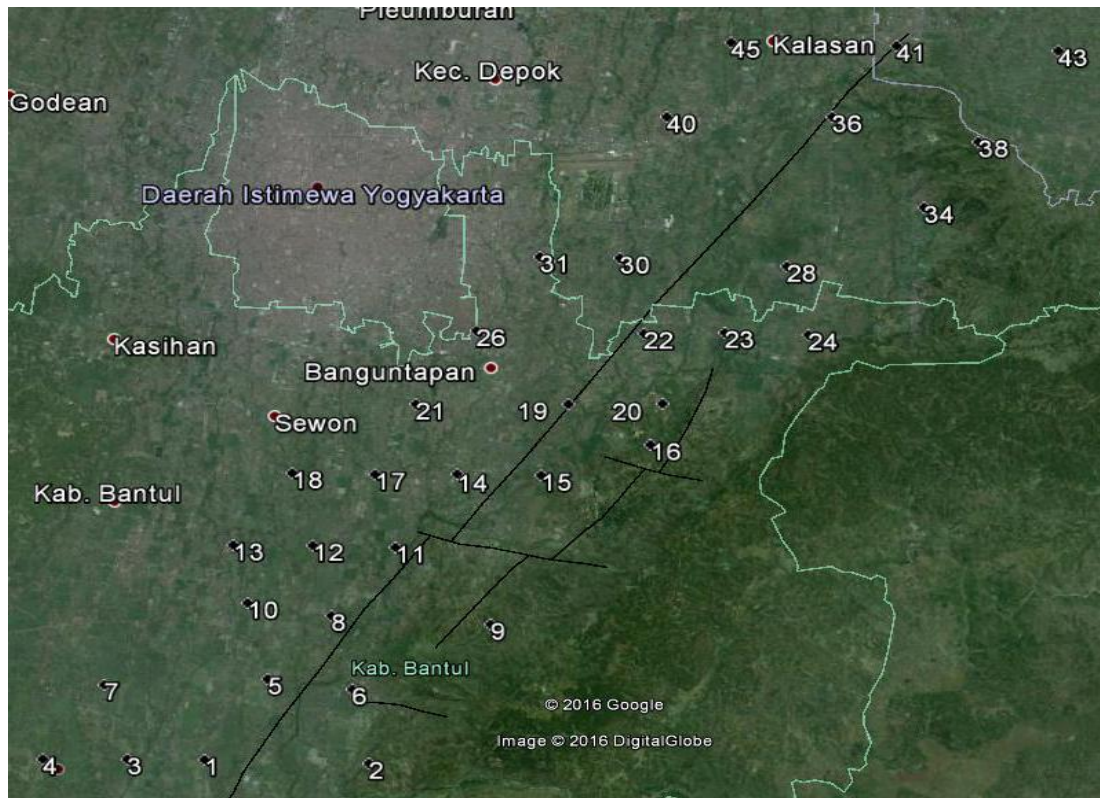
Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi pencatatan	$f_g$ minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atur sensor langsung pada permukaan tanah</li> <li>2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.</li> </ol>	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa.</li> <li>2. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir.</li> </ol>	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas <math>\pm 5</math> m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan suatu kemunculan frekuensi rendah pada kurva.</li> <li>2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong.</li> </ol>	
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s).</li> <li>2. Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti.</li> <li>3. Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik.</li> </ol>	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi.</li> <li>2. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.</li> </ol>	



Dari Gambar 7, didapatkan koordinat titik penelitian, kemudian dimasukkan dalam GPS *handle* dan dilakukan tahap berikutnya yaitu survei lokasi penelitian, hal ini bertujuan untuk mempermudah saat proses pengambilan data supaya tidak memerlukan tambahan waktu karena lokasi titik sampel penelitian sudah diketahui sebelumnya. Pemilihan lokasi dan pengambilan data dilakukan sesuai dengan persyaratan teknis penelitian mikrotremor yang ditetapkan oleh *SESAME European reseacrh project* yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil dari survei penentuan lokasi didapatkan 35 titik yang mungkin dijadikan tempat pengambilan data mikrotremor, sedangkan untuk titik lainnya tidak dapat dijadikan tempat pengambilan data mikrotremor karena lokasinya tidak memungkinkan. Titik-titik lokasi penelitian akan mengalami sedikit pergeseran beberapa meter dari titik-titik awal penelitian, hal ini disebabkan lokasi titik penelitian berada tepat dengan bangunan rumah, sarana umum, di samping jurang atau berada di tengah persawahan. Peta lokasi titik penelitian setelah dilakukan survei lapangan ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada penelitian ini digunakan 46 data sekunder. Data sekunder didapatkan dari peneliti sebelumnya di Kabupaten Bantul (Marsyelina, 2014), sehingga jumlah total data mikrotremor yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 81 titik penelitian. Peta lokasi data sekunder ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Peta lokasi titik penelitian setelah dilakukan survei lapangan

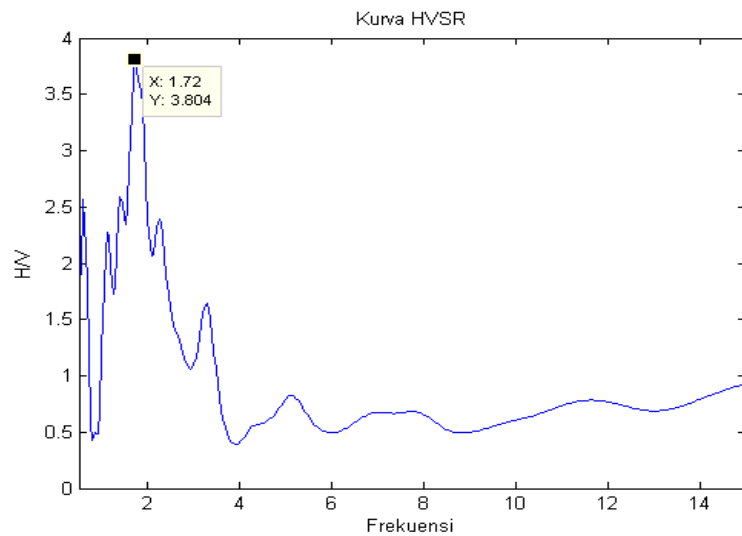


Gambar 9. Peta lokasi data sekunder

## 2. Tahap Pengambilan Data

Tahap selanjutnya adalah tahap pengambilan data. Pengukuran mikrotremor di setiap titik penelitian dilakukan selama  $\pm 30$  menit dengan sampling frekuensi 100 Hz. Hasil pengukuran data mikrotremor berupa data mentah getaran tanah dalam fungsi waktu. Pemilihan gelombang tanpa *noise* dilakukan menggunakan *software* *Sesarray-Geopsy* dengan melakukan *cut* gelombang (*windowing*). Pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan *software* MATLAB R2008a. Data *cutting* digabungkan dalam satu *file* format Excel Workbook (.xlsx) dengan menggunakan Command Prompt.

Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor yaitu 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal, tiap-tiap komponen tersebut dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Selanjutnya dilakukan proses *smoothing* dengan Konno-Ohmachi. Data yang telah *dismoothing* kemudian dianalisis dengan metode HVSR yang didapat dari akar kuadrat amplitudo spektrum horizontal dibagi dengan spektrum vertikal menghasilkan nilai H/V untuk masing-masing *window*. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva H/V yang menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan amplifikasi ( $A$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva H/V

Kurva H/V memiliki kriteria merujuk pada standar yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*, yang berupa kriteria reliabel dan *clear peak*. Untuk kriteria reliabel terdapat tiga kriteria. Kriteria yang pertama adalah nilai frekuensi dominan kurva H/V ( $f_o$ ) harus lebih besar dari 10 dibagi panjang *window* ( $l_w$ ) atau dapat dituliskan  $f_o > 10/l_w$ . Kedua, nilai  $n_c$  harus lebih besar dari 200 ( $n_c > 200$ ), dimana  $n_c$  diperoleh melalui perkalian panjang *window* ( $l_w$ ), frekuensi dominan ( $f_o$ ), dan jumlah *window* ( $n_w$ ) yang dipilih dalam proses pencarian kurva rata-rata H/V. Ketiga, standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi  $A(f)$  harus bernilai kurang dari 2 ( $\sigma A(f) < 2$ ) pada kasus  $f_o$  lebih besar dari 0,5 Hz, atau harus bernilai lebih kecil dari 3 ( $\sigma A(f) < 3$ ) pada kasus  $f_o$  kurang dari 0,5 Hz dalam batas  $0,5f_o$  hingga  $2f_o$ .

Untuk kriteria *clear peak* terdiri dari enam kriteria. Kriteria yang pertama adalah terdapat satu frekuensi ( $f^*$ ) dengan nilai antara  $f_o/4$  sampai  $f_o$  yang

memiliki nilai  $A_{H/V}(f^-) < A_o/2$  atau dapat dituliskan  $\exists f^- \in [f_o/4, f_o] / A_{H/V}(f^-) < A_o/2$ . Kedua, terdapat satu frekuensi ( $f^+$ ) dengan nilai antara  $f_o$  sampai  $4f_o$  yang memiliki nilai  $A_{H/V}(f^+) < A_o/2$  atau dapat dituliskan  $\exists f^+ \in [f_o, 4f_o] / A_{H/V}(f^+) < A_o/2$ . Ketiga, nilai amplifikasi pada saat frekuensi  $f_o$  harus lebih dari 2 atau dapat dituliskan  $A_o > 2$ . Keempat, frekuensi predominan harus berada pada batas toleransi 5% atau dapat dituliskan  $f_{peak} [A_{H/V} \pm \sigma_A(f)] = f_o \pm 5\%$ . Kelima, standar deviasi dari nilai-nilai frekuensi harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk  $\varepsilon(f_o)$  atau dapat dituliskan  $\sigma_f < \varepsilon(f_o)$ . Keenam, standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi  $A(f_o)$  harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk  $\theta(f_o)$  atau dapat dituliskan  $\sigma_A(f_o) < \theta(f_o)$ . Nilai *threshold* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai *Threshold* untuk  $\sigma_f$  dan  $\sigma_A(f_o)$  (SESAME, 2004)

	Nilai Threshold untuk $\sigma_f$ dan $\sigma_A(f_o)$				
<i>Frequency range</i> [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_o)$ [Hz]	$0.25 f_o$	$0.20 f_o$	$0.15 f_o$	$0.10 f_o$	$0.05 f_o$
$\theta(f_o)$ untuk $\sigma_A(f_o)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_o)$ untuk $\sigma_{\log H/V}(f_o)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Langkah selanjutnya mencari data kecepatan gelombang S di *website* resmi USGS ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)), dan diperoleh 3 data dalam bentuk txt, grd, dan JPG. Untuk data dalam bentuk txt diolah dengan menggunakan *software* Surfer 12, dengan mencocokkan data *longitude* dan *latitude* pada data hasil penelitian, maka diperoleh nilai  $V_s$ . Dari nilai  $V_s$  dapat dihitung nilai ketebalan lapisan sedimen ( $H$ ) dengan persamaan (Nakamura, 2000):

$$H = \frac{V_s}{4 f_g} \quad (59)$$

Setelah data ketebalan lapisan sendimen ( $H$ ) diperoleh maka dapat dicari nilai pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah menggunakan persamaan (Nakamura, 2008):

$$V_b = 4 f_g H A_o \quad (60)$$

Kemudian menentukan nilai indeks kerentanan seismik dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_g = \frac{A_o^2}{f_g} \frac{1}{\pi^2 V_b} \quad (61)$$

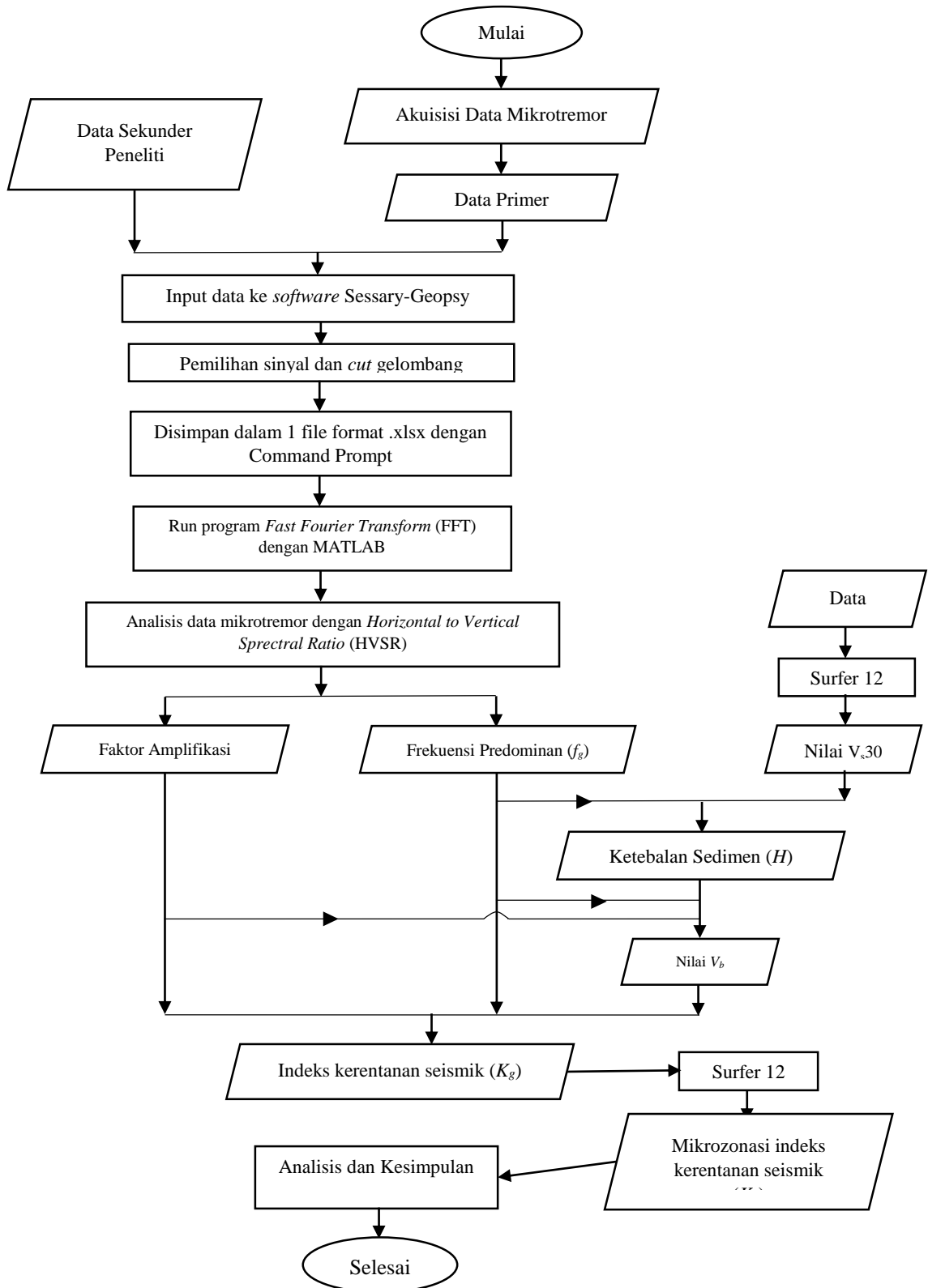
Langkah selanjutnya, setelah data indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) masing-masing titik sudah diperoleh, digunakan *software* Surfer 12 untuk mendapatkan peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik.

## E. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data pada penelitian ini adalah :

1. Menganalisis data mikrotremor dengan metode HVSR sehingga menghasilkan kurva H/V, nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ). Data tersebut digunakan sebagai data masukan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).
2. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dibuat dengan menggunakan data nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dari semua titik penelitian dan diproses dengan menggunakan *software* Surfer 12.

## F. Diagram Alir Penelitian



Gambar 11. Diagram alir penelitian

## BAB IV

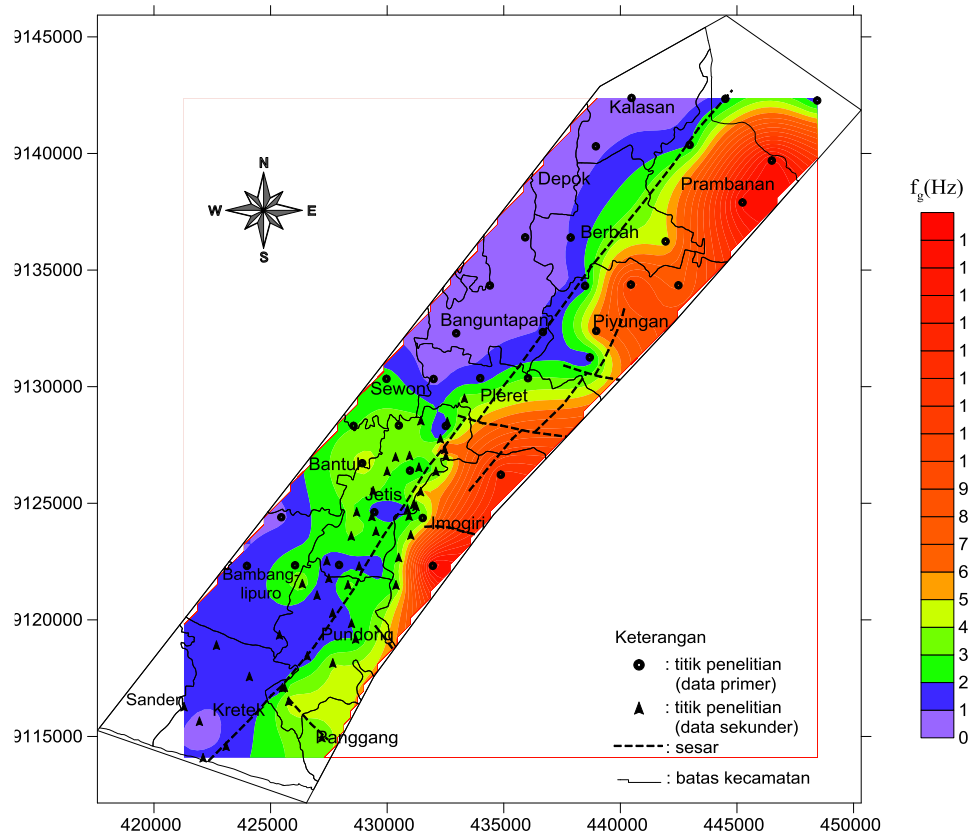
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai indeks kerentanan seismik di kawasan jalur Sesar Opak dan mikrozonasinya. Dalam penelitian ini pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V. Konno dan Ohmachi (1998) berpendapat bahwa kurva H/V dibentuk dari gelombang sekunder, namun efek gelombang Rayleigh yang besar dapat mempengaruhi bentuk dari kurva H/V sehingga merupakan *noise* yang harus dihilangkan. Kurva H/V menghasilkan nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) yang digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ), faktor amplifikasi ( $A$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) divisualisasikan dengan mikrozonasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sebaran tingkat kerentanan suatu daerah jika terjadi gempa bumi di kawasan jalur sesar Opak. Pada penelitian Daryono (2009) yang menggunakan metode HVSR untuk mengetahui respon lapisan tanah di Bantul Yogyakarta, nampak adanya korelasi positif, secara kualitatif, antara frekuensi alami dan amplifikasi dengan tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006.

Frekuensi dominan ( $f_g$ ) di kawasan jalur sesar Opak diperoleh dari sumbu horizontal puncak kurva H/V. Dari nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dapat ditentukan nilai periode dominan daerah penelitian. Dari nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) di



setiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



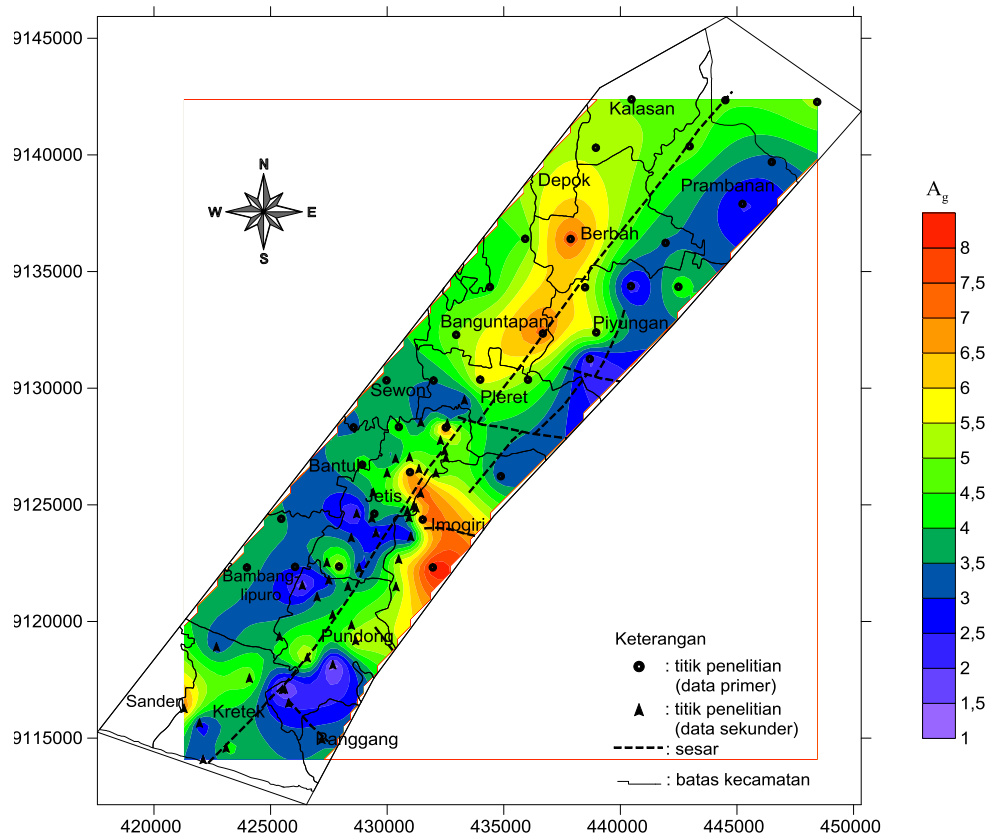
Gambar 12. Peta mikrozonasi frekuensi dominan ( $f_g$ ), di kawasan jalur Sesar Opak

Berdasarkan peta mikrozonasi frekuensi dominan ( $f_g$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 12, nilai yang diperoleh cukup bervariasi dengan nilai minimum sebesar 0,56 Hz dan nilai maksimum 18,64 Hz yang tersebar di 81 titik pengukuran. Nilai ini bersesuaian dengan nilai periode dominan ( $T_g$ ) dengan nilai 0,053 s hingga 1,780 s. Daerah penelitian dengan frekuensi dominan ( $f_g$ ) rendah yang berkisar antara 0,56 Hz hingga 1,64 Hz, berada di Kecamatan Kalasan, Berbah, Banguntapan, Kotagede dan Kretek, sebelah barat kecamatan Bambanglipuro dan Bantul, sebelah utara kecamatan Pleret, sebelah barat kecamatan Piyungan, serta

sebelah timur kecamatan Jetis. Untuk daerah penelitian yang memiliki frekuensi dominan ( $f_g$ ) tinggi dengan nilai 5,24 Hz hingga 18,64 Hz, menyebar di bagian timur wilayah kecamatan Imogiri, kecamatan Prambanan, bagian utara kecamatan Piyungan, dan bagian selatan kecamatan Pleret. Dilihat dari peta geologi, daerah dengan frekuensi dominan rendah berada di daerah dengan formasi endapan vulkanik gunung Merapi muda, dan terdapat sedikit endapan alluvium yang sebagian besar berupa tanah lunak, yang cenderung mengalami penguatan guncangan yang tinggi sehingga bangunan mengalami kerusakan. Untuk daerah dengan frekuensi dominan tinggi berada dalam formasi Nglanggran, formasi Semilir dan alluvium yang tergolong tanah keras, dimana daerah tersebut dapat mengalami penguatan guncangan yang kecil sehingga bangunan beresiko rendah mengalami kerusakan.

Hasil pengolahan data mikrotremor tidak hanya menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dari suatu titik penelitian tetapi juga memberikan informasi mengenai nilai faktor amplifikasi ( $A_g$ ). Faktor amplifikasi ( $A_g$ ) di kawasan jalur sesar Opak diperoleh dari sumbu vertikal puncak kurva H/V. Nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, apabila kecepatan gelombang semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa faktor amplifikasi berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan, dimana berkurangnya kepadatan batuan akan meningkatkan nilai faktor amplifikasi. Hal ini disebabkan oleh sedimen lunak yang memperlambat durasi gelombang yang menjalar di daerah tersebut, sehingga terjadi guncangan terhadap bangunan, begitu juga sebaliknya (Hartati, 2014).

Nilai faktor amplifikasi di kawasan jalur sesar Opak yang diperoleh berkisar 0,98 sampai 8,50 yang tersebar di 81 titik pengukuran. Dari hasil tersebut kemudian dibuat peta mikrozonasi faktor amplifikasi di kawasan jalur sesar Opak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Peta mikrozonasi faktor amplifikasi ( $A_g$ ) di kawasan jalur Sesar Opak

Nilai faktor amplifikasi dapat dibagi menjadi 3 zona seperti pada Tabel 2. Daerah penelitian dengan nilai 0,98 sampai 2,94 merupakan daerah dengan nilai faktor amplifikasi rendah yang meliputi sebelah tenggara kecamatan Prambanan, Berbah dan Piyungan, sebelah tenggara dan barat kecamatan Pleret, sebelah timur laut kecamatan Imogiri, sebelah timur kecamatan Bambanglipuro, sebelah selatan kecamatan Jetis, Pundong, Bantul, dan Kretek yang berarti daerah tersebut berisiko

rendah mengalami kerusakan. Untuk daerah dengan nilai 3,07 hingga 5,88 memiliki nilai faktor amplifikasi sedang yang mencakup kecamatan Kalasan, Depok, Kotagede, Banguntapan, Berbah, Imogiri, Pundong, Kretek, sebelah utara kecamatan Jetis, sebelah barat kecamatan Sewon, Pleret, Piyungan dan Bambanglipuro. Sedangkan daerah bernilai 7,06 hingga 8,50 memiliki nilai faktor amplifikasi tinggi, yaitu terdapat di kecamatan Imogiri, sebagian kecil daerah utara kecamatan Jetis, serta sebelah selatan kecamatan Berbah dan Banguntapan, pada daerah tersebut harus diwaspadai karena berisiko tinggi mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi.

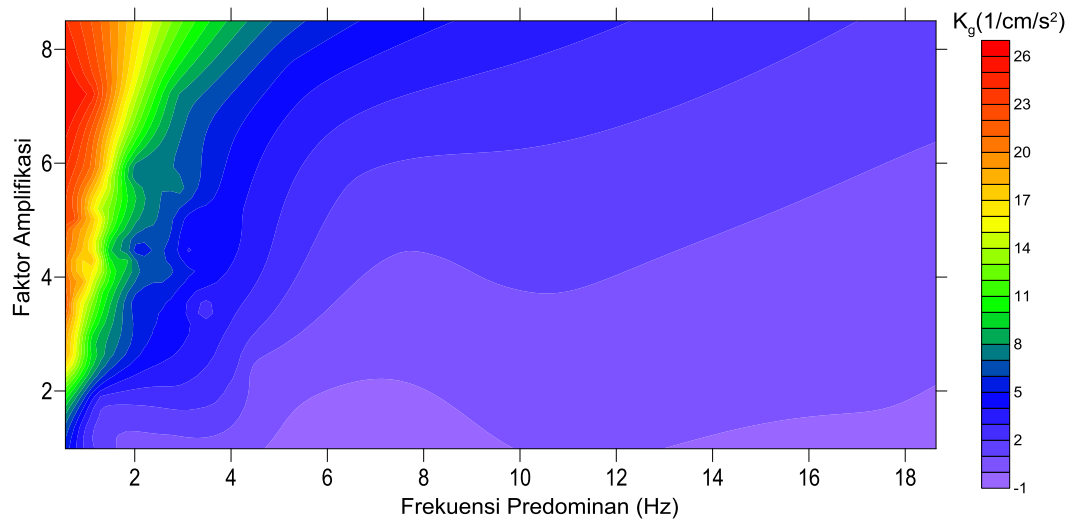
Jika dilihat dari peta geologi daerah penelitian, daerah yang memiliki faktor amplifikasi tinggi terdapat pada formasi endapan Merapi muda, sedikit formasi Nglanggran, dan alluvium yang sebagian besar berupa tanah lunak sehingga gelombang gempa bumi yang melewati daerah tersebut mengalami penguatan atau teramplifikasi. Untuk daerah yang memiliki faktor amplifikasi rendah terdapat pada sedikit formasi endapan Merapi muda, formasi Semilir, alluvium dan formasi Nglanggran yang sebagian besar materialnya adalah breksi, hal ini menyebabkan gelombang gempa bumi yang melewati daerah tersebut teramplifikasi lebih rendah.

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) merupakan indeks yang menunjukkan kerentanan lapisan tanah yang terdeformasi. Oleh karena itu, nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) berguna untuk mendeteksi zona lemah (*unconsolidated sediment*) atau kawasan yang berpotensi akan terjadi kerusakan, dan rekahan tanah pada saat terjadi gempa bumi (Winoto, 2010). Semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di daerah tersebut, maka tingkat jumlah kerusakan

bangunan yang ditimbulkan akibat gempabumi semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) suatu daerah maka tingkat kestabilan struktur tanah pada daerah tersebut semakin rendah, maka saat terjadi guncangan gempabumi kemungkinan kerusakan bangunan yang ditimbulkan akan semakin tinggi (Septian, 2013).

Dalam penelitian Nakamura (2000), beberapa peristiwa gempabumi yang merusak menunjukkan bahwa daerah yang sering terkena kerusakan akibat gempabumi memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sebesar  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $100 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ , sedangkan untuk daerah yang minim kerusakan akibat gempabumi memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) kurang dari  $5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Menurut Nakamura (2008), indeks kerentanan seismik lebih dari  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  memperlihatkan bahwa tanah di daerah tersebut telah banyak terdeformasi. Pada penelitian Daryono (2013), daerah yang mengalami kerusakan parah akibat gempabumi Bantul 2006 memiliki indeks kerentanan seismik di atas  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Sementara di daerah perbukitan yang merupakan formasi Nglanggran dan tidak mengalami kerusakan parah memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) kurang dari  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ .

Hasil dari perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) pada daerah penelitian sangat bervariasi yaitu berkisar antara  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Tinggi rendahnya nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) ini sama dengan tingkat kerusakan suatu daerah dan sangat dipengaruhi oleh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.

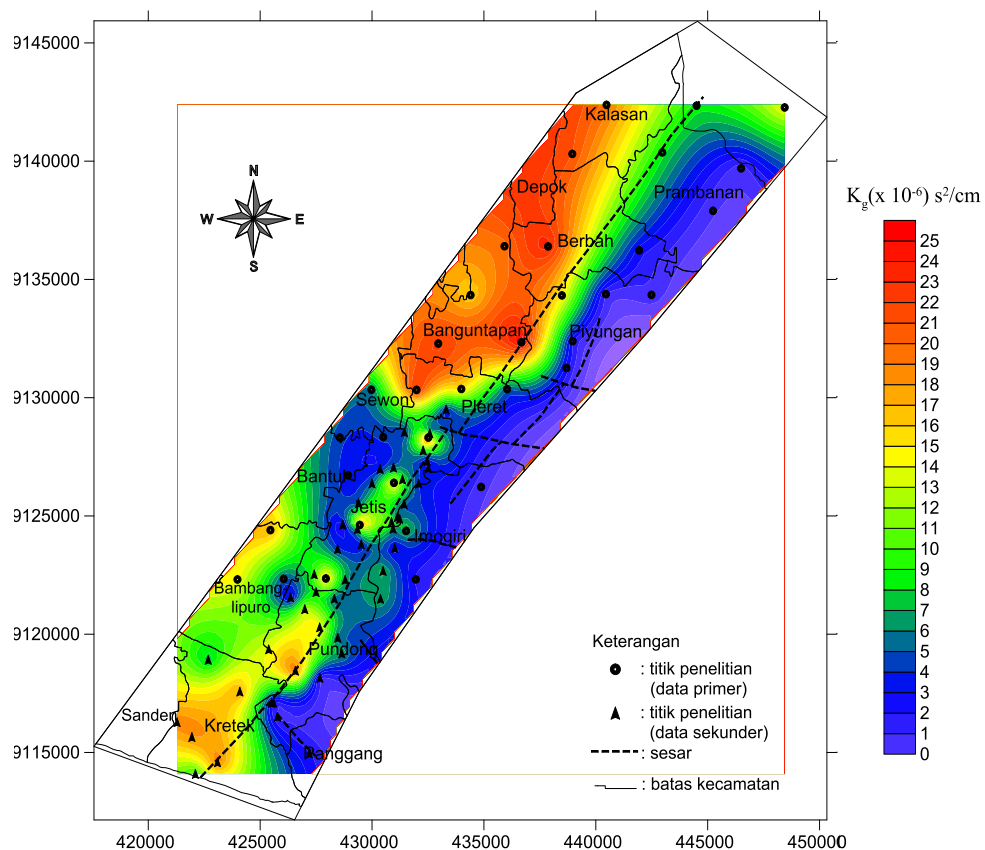


Gambar 14. Peta pemodelan pengaruh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap nilai indeks kerentanan seismik

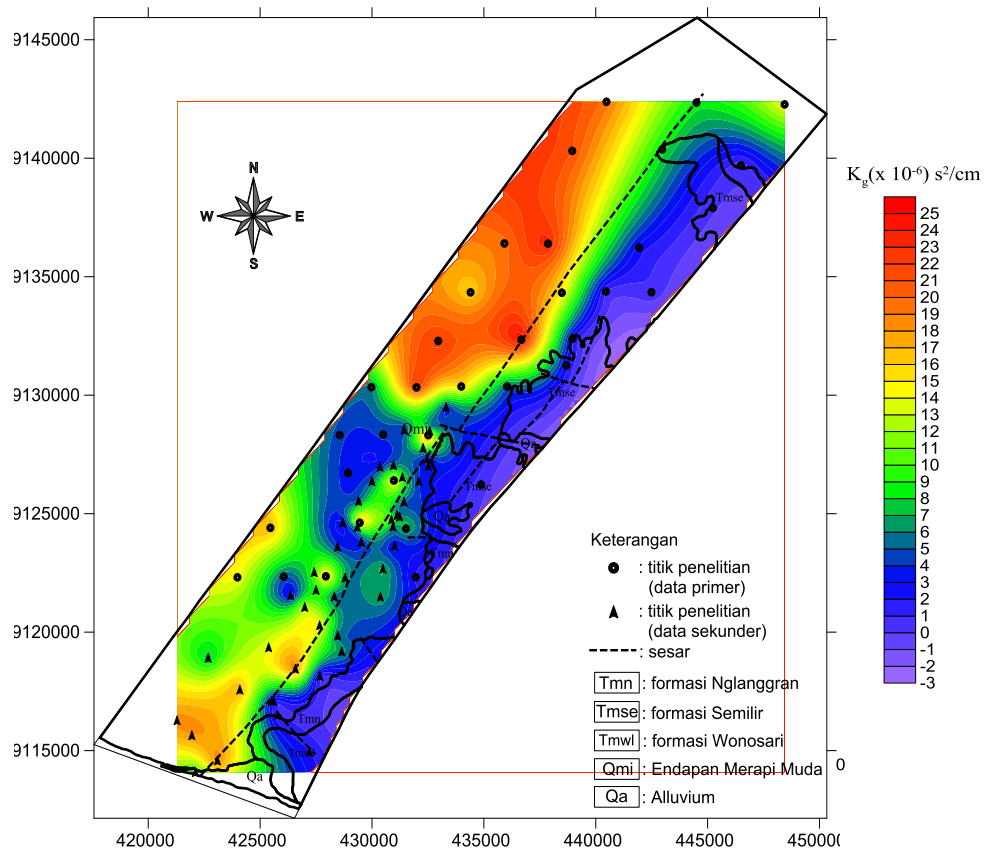
Berdasarkan Gambar 14, ketika nilai frekuensi dominan rendah dan faktor amplifikasi tinggi, maka dihasilkan nilai indeks kerentanan seismik tinggi yang mengindikasikan bahwa daerah tersebut merupakan daerah dengan potensi kerusakan akibat bencana gempa bumi yang cukup tinggi dibandingkan daerah yang memiliki frekuensi dominan tinggi dan faktor amplifikasi rendah yang menghasilkan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah. Hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di kawasan jalur sesar Opak ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16.

Berdasarkan Gambar 15, nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tertinggi terdapat pada titik 19 yang berada di Kecamatan Banguntapan dengan nilai  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ , sedangkan nilai indeks kerentanan seismik terendah terdapat pada titik 34 yang berada di Kecamatan Prambanan dengan nilai  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah ditunjukkan dengan nilai  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $5,55 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang menyebar

di kecamatan Imogiri, Prambanan, Piyungan, Panggang, dan Pleret, sebelah timur kecamatan Bantul dan Pundong, sebelah selatan kecamatan Sewon, dan sebelah barat kecamatan Jetis. Untuk daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang ditunjukkan dengan nilai  $6,29 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $15,90 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tinggi dengan nilai  $17,00 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang dan tinggi menyebar di Kecamatan Kalasan, Berbah, Banguntapan, Kotagede dan Kretek, sebelah barat kecamatan Bambanglipuro dan Bantul, sebelah utara kecamatan Pleret, sebelah barat kecamatan Piyungan, serta sebelah timur kecamatan Jetis.



Gambar 15. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dioverlay dengan peta administrasi di kawasan jalur sesar Opak

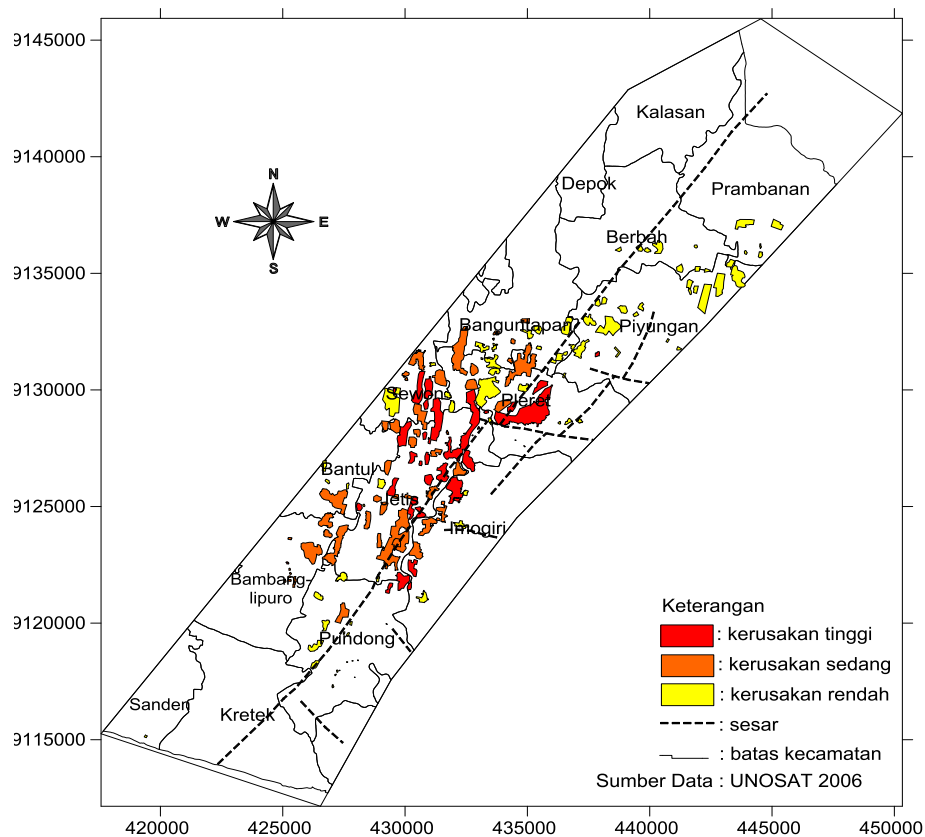


Gambar 16. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dioverlay dengan peta formasi geologi di kawasan jalur sesar Opak

Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) juga terkait dengan kondisi geologi daerah tersebut. Berdasarkan Gambar 16, daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah berada pada sedikit alluvium dan endapan Merapi muda, formasi Nglanggran, formasi Semilir serta formasi Wonosari, yang sebagian besar merupakan batuan kompak sehingga getaran yang melewati daerah tersebut tidak teramplifikasi, maka daerah tersebut cenderung aman dari kerusakan. Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang dan tinggi ini berada di daerah dengan kondisi geologi berupa endapan gunung Merapi muda yang merupakan batuan kurang kompak, dimana gelombang yang melewati daerah tersebut mengalami amplifikasi atau penguatan sehingga daerah tersebut memiliki kecenderungan tingkat



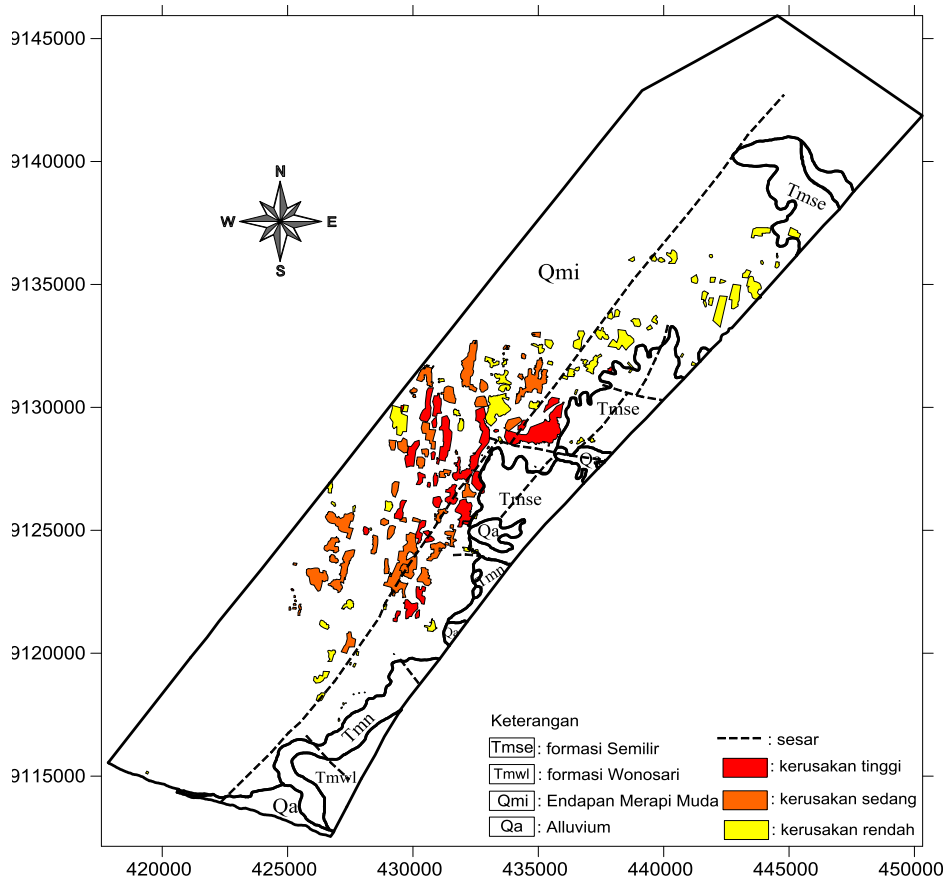
kerusakan yang cukup tinggi. Mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik kemudian dibandingkan dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 berdasarkan data dari UNOCHA (2006). Peta kerusakan akibat gempa bumi Bantul ditunjukkan pada Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. Peta distribusi kerusakan akibat gempa bumi Bantul 2006 dioverlay dengan peta administrasi

Sebaran daerah yang mengalami kerusakan akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 ditunjukkan pada zona warna kuning dengan tingkat kerusakan ringan, zona oranye dengan tingkat kerusakan sedang, dan zona merah dengan tingkat kerusakan berat. Dilihat dari peta sebaran kerusakan, tingkat kerusakan sedang dan tinggi berada pada daerah kawasan jalur sesar Opak bagian tengah (Kabupaten Bantul), untuk daerah jalur sesar Opak bagian utara hanya sedikit yang mengalami

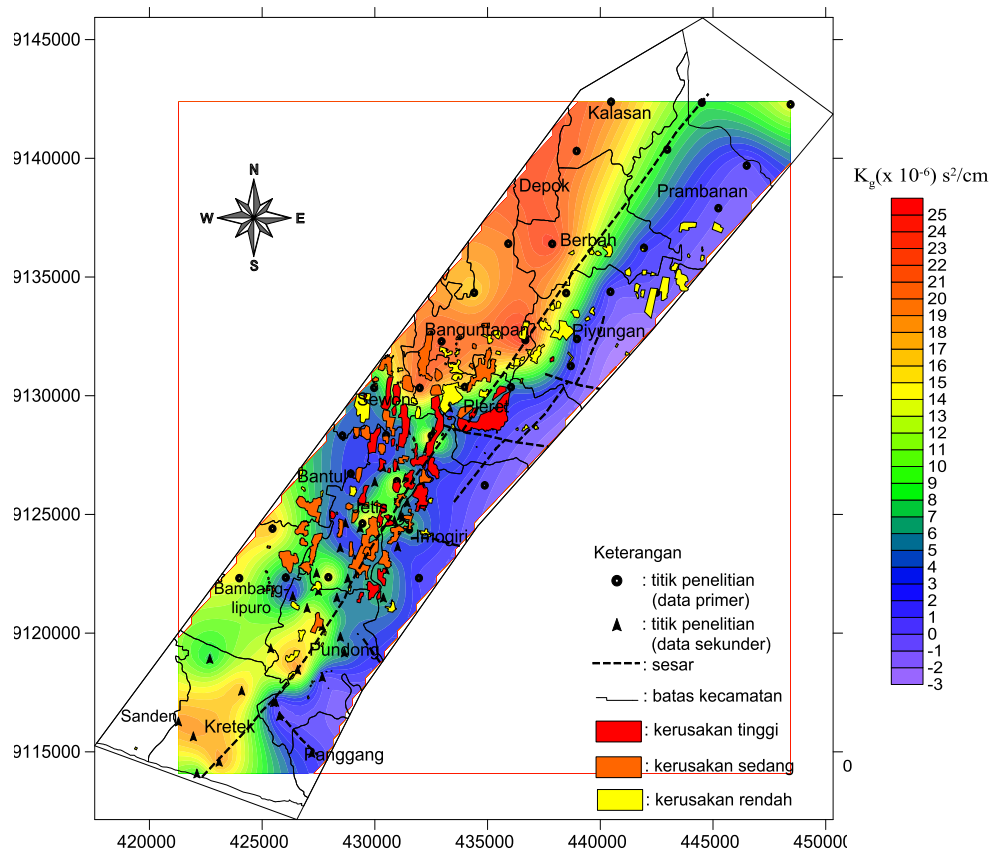
kerusakan (Kabupaten Sleman). Berdasarkan Gambar 18, sebaran kerusakan akibat gempa bumi 2006 terdapat pada wilayah endapan Merapi muda.



Gambar 18. Peta distribusi kerusakan akibat gempa bumi Bantul 2006 dioverlay dengan peta formasi geologi

Berdasarkan Gambar 19, hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik terdapat sedikit perbedaan dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006. Dapat dilihat bahwa pada kecamatan Kretek yang merupakan daerah dengan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tinggi, tetapi menurut peta sebaran kerusakan tidak sesuai dengan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), kecamatan Bantul sebelah utara dan kecamatan Sewon bagian selatan memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah, tetapi pada peta sebaran kerusakan didapat bahwa

pada kawasan tersebut memiliki banyak kerusakan, begitu juga dengan kecamatan Pleret dan kecamatan Jetis yang sebagian wilayahnya memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah namun terdapat zona merah (kerusakan tinggi) pada peta sebaran kerusakan. Untuk daerah kecamatan Depok, Kalasan, Berbah dan kecamatan Banguntapan bagian utara menurut hasil mikrozonasi memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang hingga tinggi, namun dari peta sebaran kerusakan tidak terdapat kerusakan pada daerah tersebut.



Gambar 19. Peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik dioverlay dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi 27 Mei 2006 dan peta administrasi

Berdasarkan perhitungan presentase korelasi, untuk presentase korelasi antara hasil mikrozonasi nilai indeks kerentanan seismik rendah dengan tingkat sebaran kerusakan rendah (zona kuning) sebesar 89,22%, hasil mikrozonasi nilai

indeks kerentanan seismik sedang dengan tingkat sebaran kerusakan sedang (zona oranye) sebesar 84,23%, dan untuk hasil mikrozonasi nilai indeks seismik tinggi dengan tingkat sebaran kerusakan tinggi (zona merah) sebesar 0,44% dengan rata-rata kolerasi menyeluruh sebesar 0,6. Rendahnya korelasi pada hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik tinggi dengan tingkat sebaran kerusakan tinggi (zona merah) dikarenakan peta sebaran kerusakan yang digunakan *direlease* pada tanggal 31 Mei 2006 empat hari setelah gempabumi terjadi sehingga peta tersebut belum mencakup seluruh wilayah yang mengalami kerusakan. Salah satu contohnya dapat dilihat pada kecamatan Depok yang termasuk kawasan padat penduduk, pada kecamatan ini memiliki banyak fasilitas seperti keberadaan bandar udara, universitas, pusat perbelanjaan dan lokasinya berada berbatasan langsung dengan ibukota Propinsi. Akibat gempabumi tahun 2006 beberapa bangunan di kecamatan Depok mengalami kerusakan antara lain, Mall Saphir Square mengalami kerusakan parah di lantai 4 dan 5, tembok depan Mall di lantai tersebut roboh hingga berlubang, kanopi teras Mall ambruk dan menimpa teras Mall yang sebagian ikut roboh. Selain itu gempabumi juga mengakibatkan selasar di bandara Adi Sucipto rusak (Suryanto, 2012). Dari hasil mikrozonasi, kecamatan tersebut memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi namun pada peta sebaran kerusakan tidak dijumpai kerusakan pada kecamatan tersebut. Perbedaan tersebut disebabkan karena data yang digunakan pada sumber peta sebaran kerusakan gempabumi 27 Mei 2006 mengacu pada tahap awal kerusakan bangunan yang terjadi. Kerusakan bangunan yang terjadi di kawasan jalur sesar Opak disebabkan oleh beberapa faktor yaitu lokasi yang terletak pada atau dekat dengan zona sesar Opak, bangunan

berusia tua dan dirancang tidak tahan terhadap guncangan gempa bumi, serta terletak pada tanah lunak (endapan gunung Merapi muda, endapan alluvium dan tanah urug) sehingga guncangan yang terjadi diperkuat (Supartoyo, 2016).

Peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik ini dapat dijadikan acuan dalam perancangan pembangunan bangunan, jembatan, dan jalan raya di kawasan jalur sesar Opak untuk mengurangi dampak kerusakan bila terjadi bencana gempa bumi di kemudian hari. Untuk daerah yang mempunyai tingkat kerusakan akibat gempa bumi tinggi harus memperhatikan kualitas bangunan yang lebih baik dan sebaiknya menempatkan bangunan di daerah yang mempunyai nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) yang rendah.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai indeks kerentanan seismik di kawasan jalur sesar Opak berkisar  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang memiliki kategori rendah hingga tinggi.
2. Hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah berada di bagian barat daya dan barat laut jalur sesar Opak dengan kisaran nilai  $0,20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $5,55 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di kecamatan Imogiri, Prambanan, Piyungan, Panggang, dan Pleret, sebelah timur kecamatan Bantul dan Pundong, sebelah selatan kecamatan Sewon, dan sebelah barat kecamatan Jetis, untuk hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang ditunjukkan dengan nilai berkisar  $6,29 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $15,90 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  dan hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tinggi dengan nilai  $17,00 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $25,14 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  berada di bagian timur jalur sesar Opak menyebar di Kecamatan Kalasan, Berbah, Banguntapan, Kotagede dan Kretek, sebelah barat kecamatan Bambanglipuro dan Bantul, sebelah utara kecamatan Pleret, sebelah barat kecamatan Piyungan, serta sebelah timur kecamatan Jetis.

## **B. SARAN**

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan agar pengambilan titik pengukuran lebih banyak dengan jarak antar titik kurang dari 2 km sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat.
2. Bagi masyarakat diharapkan membuat bangunan tahan gempa yang disesuaikan dengan tingkat resiko gempa berdasarkan indeks kerentanan seismik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriliani, Fitria. (2014). *Analisa Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Di Kecamatan Pacitan, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2014). *Gempabumi*. Diakses dari [www.bmkg.go.id/BMKG/Pusat/Gempabumi - Tsunami/Gempabumi.bmkg](http://www.bmkg.go.id/BMKG/Pusat/Gempabumi-Tsunami/Gempabumi.bmkg) pada tanggal 12 Maret 2014, jam 19.30 WIB.
- Bappenas. (2006). *Preliminary Damage and Loss Assesment*. Consultatif Group Indonesia : Jakarta
- Benyamin, Noer Aziz Magetsari, Agus Handoyo Harsolumakso, Chalid Idham Abdullah (2014). *Modul Kuliah Geologi Fisik*. Bandung : ITB
- Bour, M., Fouissac, D., Dorninique, P., and Martin, C. (1998). On the Use of Microtremor Recording in Seismic Microzonation. France: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 17 PII:S0267-7261(98)00014-1.
- Braile, L.W., (2006). *Seismic Waves and the Slinky*. Diakses dari <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky4.htm> pada tanggal 25 Juli 2016.
- Daryono, Sutikno. dan Prayitni, Bambang Setio. (2009). *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono. (2010). *Zona rawan "Local Site Effect" Gempabumi di Yogyakarta*. Yogyakarta : BMKG
- Daryono. (2011). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi. Yogyakarta : UGM
- Daryono. (2013). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Riset Daerah Vol. XII, No.1. April 2013
- Dimas, Sustanugraha. (2013). *Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Sig) Untuk Penentuan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Sampah Di Wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Dan Kabupaten Bantul (Kartamantul)*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Gosar, A. (2007). *Microtremor HVSr Study for Assesing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998  $M_w$  5.6 and 2004  $M_w$  5.2 Earthquake*. ELSEIVER Engineering Gelogy 91.



- Hartati, Lidia. (2014). *Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Thesis. Yogyakarta : UGM.
- IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia). (2006). *Tanya Jawab Gempa@Yogya-Jateng 27 Mei 2006*. Yogyakarta : PERHIMAGI.
- Ibrahim, Gunawan dan Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kusuma, Y.Wijaya., M. Wismabrata, Yunanto Wiji Utomo. (2016). *10 Tahun Gempa Yogyakarta*. Diakses dari <http://vik.kompas.com/gempayogyakarta/> pada tanggal 20 Juli 2016.
- Konno, K., Ohmachi, T., (1998). *Ground Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor., Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, No 1, 228-241.*
- Laberta, Septian. (2013). *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta* . Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Lyons, Richard G.,(2001). *Understanding Digital Signal Processing*. Prentice Hall PTR
- Manolakis, Dimitris G., & Ingle, Vinay K. (2011). *Applied Digital Signal Processing Theory and Practice*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Marsyelina, Merizka. (2014). *Karakteristik Mikrotremor Dan Seismitas Pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.
- Mirzaoglu, Mete. *et al.*,. (2003). *Application of microtremors to seismic microzoning procedure*. Balkan: Journal of the Balkan Geophysical, Vol. 6, No. 3,p.
- Nurwidyanto, M.Irham., Rina Dwi Indriana, Zukhrufuddin Thaha Darwis. (2007). *Pemodelan Zopna Sesar Opak Di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta Dengan Metode Gravitasi*. Berkala Fisika Vol. 10, No. 1.
- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, Quarterly Report of the Railway Technology Research Institute, Japan.
- Nakamura, Y. (1997). *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research

- Nakamura, Y. (2000). *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC*. Japan: Quarterly Report of RTRI, Vol. 37, No. 3, 112-127.
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M. (2000). *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. Palm Springs California: Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI.
- Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* :Beijing, China.
- Okada, H,. (2004). *The microtremor survey method*. Society of Exploration Geophysicist. United State of America.
- OCHA. (2006). *Number of Earthquake Victim Bantul District, Yogyakarta*. Indonesia: OCHA Country Office.
- PEMKAB Bantul. (2002). *Data Pokok Pembangunan*. Diakses melalui [https://www.bantulkab.go.id/datapokok/0406\\_geologi.html](https://www.bantulkab.go.id/datapokok/0406_geologi.html) pada tanggal 5 Oktober 2016, Jam 07:32 WIB.
- PEMKAB Sleman. (2006). *Letak dan Luas Wilayah*. Diakses melalui <http://www.slemankab.go.id/profil-kabupaten-sleman/geografi/letak-dan-luas-wilayah> pada tanggal 5 Oktober 2016, Jam 07:51 WIB.
- Raharjo, Wartono., Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Rovicky. (2010). Patahan Opak yng Unik-2, Diakses dari <http://rovicky.wordpress.com/2010/08/25/patahan-opak-yang-unik-2-yang-mana-penyebab-gempa-itu/> pada tanggal 25 Juli 2016
- Saaduddin, Sismanto, Marjiyono. (2015). Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009. Yogyakarta: *Proceeding*, Seminar Nasional Kebumian ke-8.
- SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project.
- Setiawan J.R. (2009). Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya. *Tesis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Sunardi, Bambang., Daryono. (2012). *Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 13 no 2 tahun 2012
- Supartoyo, Oman Abdurahman, Atep Kurnia. (2016). *10 tahun Gempa Yogyakarta*. Geomagz vol 6 no 2 juni 2016 ISSN:2088-7906
- Surono., Toha, B., dan Sudarno, I., (1992), *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girontro, Jawa*, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Suryanto, W. (2012). *Sasana Kebangkitan Memorial Building of Bantul*. Skripsi. Surakarta : UMS
- Tan, Li. (2008). *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications*. San Francisco: Elsevier.
- Telford, W.M. et al. (2004). *Applied Geophysics, Second Edition*. New York:Cambridge University Press.
- Tuladhar, R., Cuong, N. N. H., and Yamasaki, F, (2004), *Seismic microzonation of Hanoi, Vietnam using microtremor observation, paper no 2539, 13th world conference on earthquake engineering*, Vancouver, B, C., Canada
- UNOCHA. (2006). *Preliminary Damage Assessment Java Earthquake*. Diakses dari:  
[http://maps.unosat.org/ID/UNOSAT\\_Java\\_EQ\\_damage30may06\\_highres.jpg](http://maps.unosat.org/ID/UNOSAT_Java_EQ_damage30may06_highres.jpg)  
 eg pada tanggal 27 Juni 2016, jam 21.34 WIB.
- Van der Pluijm, B.A. & S. Marshak. (1955). *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics* (2nd ed.). New York: W.W. Norton & Company, Inc.
- Waluyo. (1996). *Diktat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta : UGM
- Wang, Zhenming. (2008). *A technical note on seismic microzonation in the central United States*. Kentucky: Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, pp. 1–8.
- Wijaksono. G. (2008). *Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Zona Sesar Opak Bantul Yogyakarta Berdasarkan Data Anomali Bouguer Lengkap*. Tugas Akhir. Semarang : UNDIP
- Winoto, Prasetyo. (2010). *Analisis Mikrotremor Kawasan Universitas Brawijaya Berdasarkan Metode HVSr*. Thesis. Malang : Universitas Brawijaya.

**LAMPIRAN I**  
**DATA HASIL PENELITIAN**

Titik Amat	Koordinat (UTM)		Frekuensi Predominan $f_g$ (Hz)	Faktor Amplifikasi $A$	Periode Predominan $T_g$ (s)	Vs30 (m/s)	Ketebalan sedimen $H$ (m)	$V_b$ (m/s)	Indeks Kerentanan Seismik $K_g \times 10^{-6}$ (1/cm/s <sup>2</sup> )
	mT	mU							
b1	432284,3243	9127768,178	1,44	4,393	0,694444	335,174	58,18993	1472,419	9,231432
b2	432518,7642	9127014,522	3,24	4,998	0,308642	379,952	29,31728	1899	4,117781
b3	432464,1237	9127313,315	9,48	4,43	0,105485	379,952	10,01983	1683,187	1,247405
b4	430959,8321	9127047,032	3,6	4,781	0,277778	263,59	18,30486	1260,224	5,110084
b5	430869,2311	9124748,769	1,28	3,745	0,78125	257,739	50,33965	965,2326	11,51337
b6	429517,6453	9123798,123	2,84	2,283	0,352113	233,256	20,5331	532,5234	3,495388
b7	428692,4145	9124628,428	3	1,794	0,333333	260,819	21,73492	467,9093	2,325427
b8	428798,3591	9122301,157	1,76	2,656	0,568182	243,148	34,53807	645,8011	6,29485
b9	429997,2329	9126372,095	3,16	4,218	0,316456	263,018	20,80839	1109,41	5,147244
c1	432089,4387	9126366,391	3,12	4,415	0,320513	384,242	30,78862	1696,428	3,735184
c9	431131,823	9124949,458	4,16	5,125	0,240385	305,061	18,33299	1563,438	4,095949
c10	431235,0003	9124873,513	2,64	5,411	0,378788	305,061	28,88835	1650,685	6,8144
d2	428470,6163	9119851,039	2,04	4,5	0,490196	440,699	54,00723	1983,146	5,076694
d3	427202,3265	9114954,222	3,4	3,431	0,294118	474,643	34,90022	1628,5	2,156331
d5	422106,449	9114089,28	1,12	2,884	0,892857	292,121	65,20558	842,477	8,940363
d6	424092,7398	9117573,069	1,2	5,011	0,833333	240,345	50,07188	1204,369	17,62174

d7	421287,326	9116278,983	1,64	7,273	0,609756	240,345	36,63796	1748,029	18,71438
d8	422679,3692	9118915,831	1,72	3,084	0,581395	255,796	37,17965	788,8749	7,109399
Titik-1	426361,8003	9121555,816	3,8	1,598	0,263158	250,338	16,46961	400,0401	1,703755
Titik-4	427498,004	9121783,542	1,32	2,691	0,757576	243,148	46,05076	654,3113	8,503736
Titik-5	427415,067	9122530,233	1,84	4,261	0,543478	248,039	33,70095	1056,894	9,469225
Titik-9	428316,95994	9121502,0502	3,44	4,003	0,290698	243,148	17,67064	973,3214	4,853971
Titik-11	428459,96384	9123599,1364	3,16	3,186	0,316456	254,124	20,10475	809,6391	4,023961
Titik-13	429344,88536	9124436,1457	2,68	4,055	0,373134	233,256	21,75896	945,8531	6,579061
Titik-19	429400,14755	9125535,3621	3,44	3,982	0,290698	250,338	18,19317	996,8459	4,689826
Titik-23	430377,77890	9121496,8849	2,56	4,768	0,390625	269,763	26,34404	1286,23	7,002524
Titik-24	430493,00947	9122673,9501	2,96	5,521	0,337838	255,796	21,60439	1412,25	7,395593
Titik-25	431012,90509	9123641,3811	4,04	2,415	0,247525	258,501	15,99635	624,2799	2,345386
Titik-26	430939,47686	9124457,7398	2,8	3,921	0,357143	255,796	22,83893	1002,976	5,552464
Titik-28	430360,07136	9126983,4779	3,76	3,297	0,265957	263,59	17,52593	869,0562	3,373983
Titik-34	431433,93702	9125502,1465	5,24	7,72	0,19084	305,061	14,55444	2355,071	4,89824
Titik-35	431361,64539	9126543,8597	2,04	5,501	0,490196	302,582	37,08113	1664,504	9,038765
Titik-37	431445,38511	9128543,0492	3,32	3,234	0,301205	271,406	20,4372	877,727	3,640183
Titik-43	432579,05231	9128495,1566	2	3,6	0,5	335,174	41,89675	1206,626	5,446818
Titik-48	433313,06462	9129498,2415	3,4	2,937	0,294118	250,337	18,40713	735,2398	3,49978
ta1	425511,76850	9117090,4294	1	1,281	1	534,308	133,577	684,4485	2,431634
ta2	425774,83079	9116509,6871	4,48	2,39	0,223214	757,868	42,29174	1811,305	0,713949
ta3	425594,58719	9117106,5962	2,8	1,079	0,357143	534,308	47,70607	576,5183	0,731497
ta4	427669,28588	9118151,4092	4	0,9855	0,25	650,049	40,62806	640,6233	0,384407
ta5	428648,18048	9119185,9399	1,96	5,847	0,510204	440,699	56,21161	2576,767	6,865555
ta6	425382,04552	9119358,5227	1,2	3,881	0,833333	238,781	49,74604	926,7091	13,73736

ta7	426575,29853	9118455,3524	1,2	5,835	0,833333	248,401	51,75021	1449,42	19,85395
ta8	427661,29229	9120291,0754	1,12	4,049	0,892857	247,381	55,21897	1001,646	14,82191
ta9	426994,71259	9121058,5809	1,08	3,479	0,925926	250,338	57,94861	870,9259	13,05102
ta10	421949,10780	9115652,6977	0,6	2,58	1,666667	240,345	100,1438	620,0901	18,14571
ta11	423093,46689	9114582,6516	1,16	4,214	0,862069	194,031	41,81703	817,6466	18,98918
1	427937,8	9122354,2	1,4	5,876	0,714286	250,338	44,70321	1470,986	17,00465
2	431956,7	9122316,8	18,64	8,5	0,053648	275,769	3,698619	2344,037	1,677136
3	426049,9	9122339,2	2,64	3,11	0,378788	247,243	23,41316	768,9257	4,832514
4	423986	9122313,1	1,2	3,848	0,833333	226,331	47,15229	870,9217	14,36979
5	429450,8	9124617,1	0,92	3,949	1,086957	233,256	63,38478	921,1279	18,66411
6	431523,6	9124367,2	2,84	7,187	0,352113	317,518	27,95053	2282,002	8,083541
7	425459,1	9124400,1	0,76	3,555	1,315789	275,878	90,74934	980,7463	17,19688
8	430978,8	9126399	1,8	7,065	0,555556	250,338	34,76917	1768,638	15,90207
9	434873,9	9126223,9	13,48	3,069	0,074184	420,338	7,795586	1290,017	0,54935
10	428931,5	9126716,9	4,44	4,304	0,225225	282,706	15,91813	1216,767	3,477723
11	432514,8	9128312,6	1,12	8,21	0,892857	335,174	74,81563	2751,779	22,18174
12	430500,6	9128335,4	3,4	4,354	0,294118	287,082	21,10897	1249,955	4,524226
13	428557,5	9128316,6	2,92	3,393	0,342466	267,965	22,94221	909,2052	4,398085
14	433991,3	9130365,2	1,4	5,84	0,714286	271,406	48,46536	1585,011	15,58856
15	436038,6	9130362,6	3,04	4,964	0,328947	346,353	28,48298	1719,296	4,781674
16	438690,5	9131251,8	1,24	1,84	0,806452	606,341	122,2462	1115,667	2,482104
17	431989,5	9130327,7	0,56	3,502	1,785714	278,794	124,4616	976,3366	22,75021
18	429970,5	9130333,7	2,48	3,713	0,403226	278,794	28,10423	1035,162	5,446664
19	436676	9132340	1,08	7,253	0,925926	270,906	62,70972	1964,881	25,14294
20	438965,6	9132388,6	6,64	5,538	0,150602	468,145	17,62594	2592,587	1,806946

21	432959,7	9132286,9	0,76	4,975	1,315789	297,797	97,95954	1481,54	22,29461
22	438486,4	9134322,4	1,44	5,536	0,694444	263,843	45,80608	1460,635	14,77844
23	440451,3	9134375,2	10,53	2,099	0,094967	296,018	7,027968	621,3418	0,682978
24	442489,3	9134344,6	7,64	4,345	0,13089	614,087	20,09447	2668,208	0,939306
26	434404,4	9134337,8	0,88	4,191	1,136364	306,389	87,04233	1284,076	15,76531
28	441938,8	9136226,7	4,6	3,423	0,217391	306,238	16,64337	1048,253	2,464511
30	437867,7	9136394,3	1,04	7,448	0,961538	306,789	73,74736	2284,964	23,67594
31	435918,4	9136401,9	0,76	4,527	1,315789	309,247	101,726	1399,961	19,53584
34	445238,4	9137897,5	17,52	2,399	0,057078	684,056	9,761073	1641,05	0,203023
36	442971,1	9140368,6	1,84	4,784	0,543478	312,702	42,48668	1495,966	8,433025
38	446494,5	9139694,6	17,52	3,305	0,057078	654,693	9,34208	2163,76	0,29224
40	438950,2	9140305,5	0,8	5,368	1,25	323,044	100,9513	1734,1	21,06694
41	444502,3	9142343,7	1,56	4,588	0,641026	350,801	56,21811	1609,475	8,503128
43	448441,7	9142269	1,2	5,188	0,833333	304,587	63,45563	1580,197	14,39621
45	440479,7	9142378,6	0,76	4,925	1,315789	336,043	110,5405	1655,012	19,55863

Contoh perhitungan indeks kerentanan seismik pada Titik Amat 38

Diketahui :  $f_g = 17,52 \text{ Hz}$

$$A = 3,305$$

$$V_s = 654,693 \text{ m/s}$$

1. Ketebalan Sendimen

$$H = \frac{V_s}{4f_g} = \frac{654,693}{4 \cdot 17,52} = 9,34208 \text{ m}$$

2. Kecepatan pergeseran bawah permukaan tanah

$$\begin{aligned} V_b &= 4f_g H A_g = 4 \cdot 17,52 \text{ Hz} \cdot 9,34208 \text{ m} \cdot 3,305 \\ &= 2163,76 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Indeks kerentanan seismik

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{1}{\pi^2 4 V_b} = \frac{3,305^2}{17,52} \frac{1}{3,14^2 \cdot 4 \cdot 2163,76} = 0,29224 \text{ (1/(cm/s}^2\text{))}$$

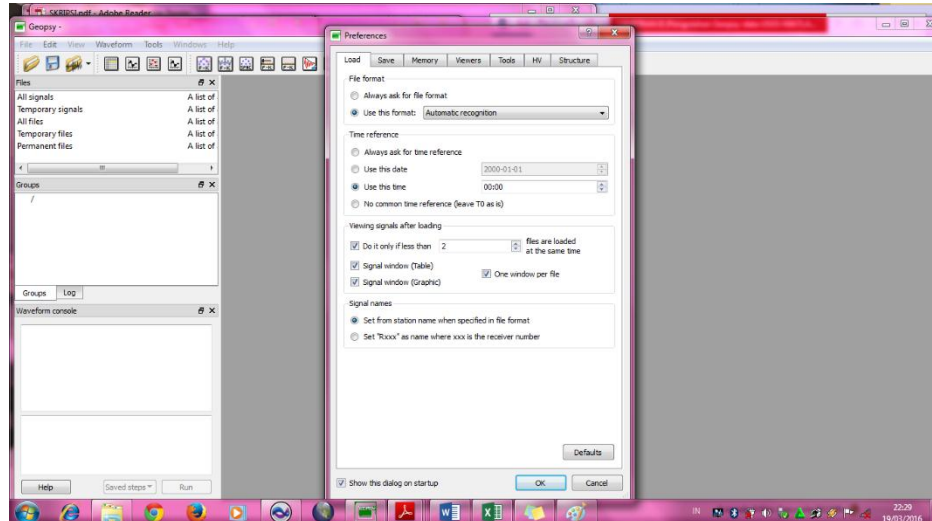


## LAMPIRAN II

### TAHAP-TAHAP PENGOLAHAN DATA

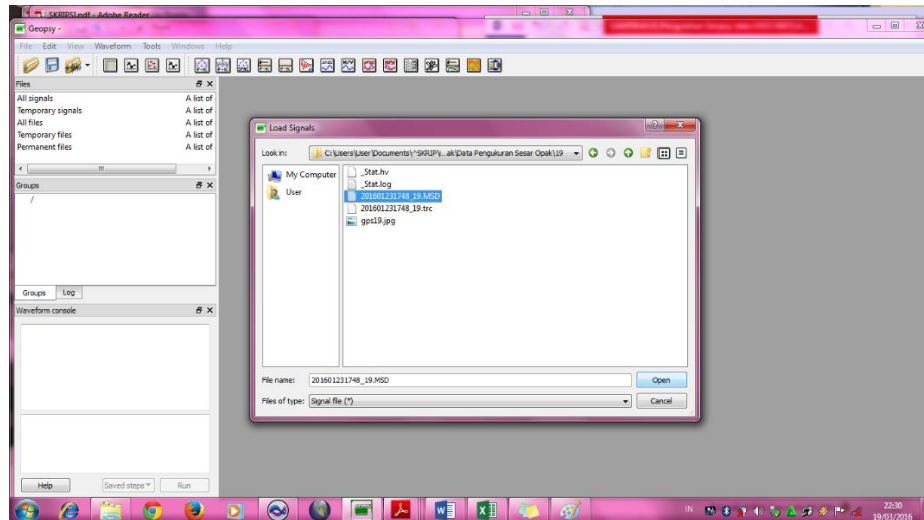
#### A. Menganalisis Data Mikrotremor Menggunakan *software* Sessaray-Geopsy

1. Buka *software* Sessaray-Geopsy, maka akan muncul:



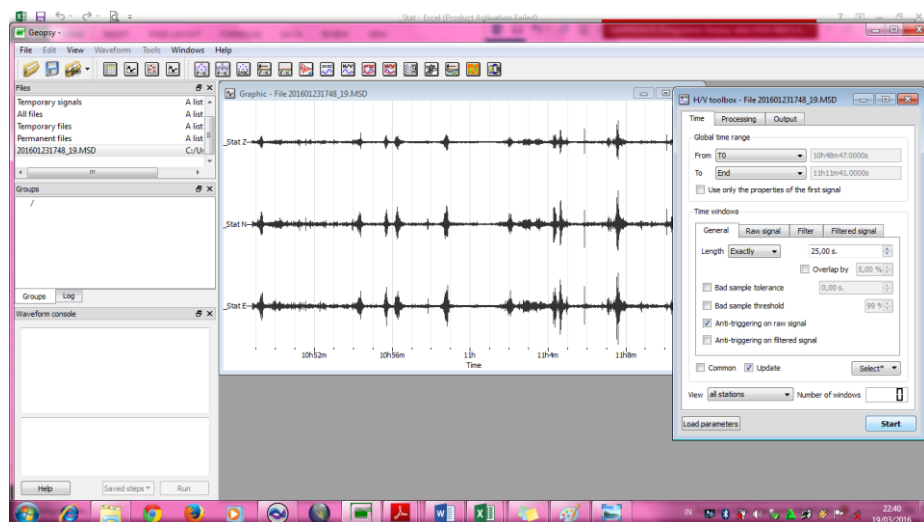
Gambar L1. Tampilan awal *software* Sesaray Geopsy

2. Klik oke pada kotak kecil *Preferences*
3. Klik *icon import signals*, kemudian dicari *file* penyimpanan data titik-titik pengukuran dalam format MINI SEED (.msd), kemudian klik *Open*, maka akan muncul tampilan seperti dibawah ini:



Gambar L2. Proses memasukkan data untuk menganalisis HVSR

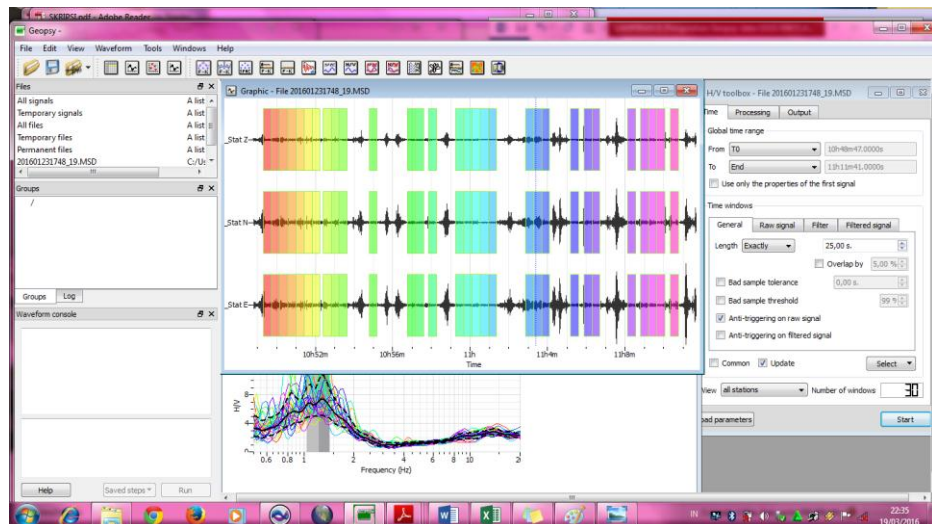
4. Klik *icon H/V* yang ada pada *toolbox software*, maka akan muncul H/V *toolbox*.



Gambar L3. Contoh rekaman data mikrotremor 3 komponen

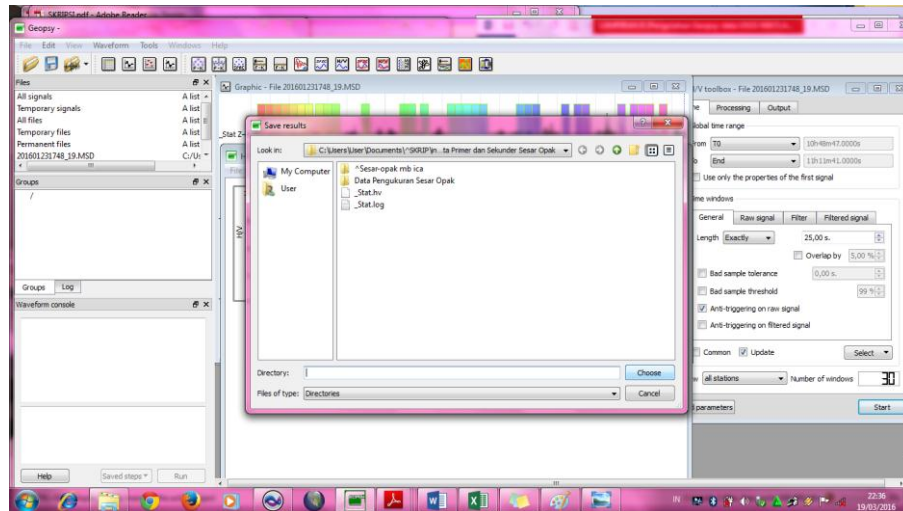
5. Pada kotak H/V *toolbox* terdapat pilihan *Time*, *Processing*, dan *Output*.
  - a. Untuk *Output* disetting pada *Frequency sampling* 0,50 Hz sampai 20 Hz dengan *Number of samples* 100.

- b. Untuk *Processing* pilih *smoothing type* Konno & Ohmachi dan untuk *Horizontal component* pilih *Square average*.
- c. Untuk *Time* disetting pada *length windows* 25.00 s dan pilih *add* untuk melakukan pemilihan sinyal tanpa *noise* yang digunakan saat analisis menggunakan MATLAB R2008a.
- d. Kemudian klik *icon start*, maka akan muncul grafik *H/V result* serta jumlah sinyal yang dipilih akan ditampilkan pada *Number of windows*.



Gambar L4. Tampilan hasil analisis HVSR

6. Pilih *Tools* pada *toolbar*, kemudian pilih *Save results* ( sesuai nama gambar grafik) → *choose* maka akan tersimpan dalam format *.hv*,



Gambar L5. Proses penyimpanan file dalam format .hv

7. Untuk membuka format .hv menggunakan *software Microsoft Excel*. Maka keseluruhan nilai dari grafik dapat diketahui.

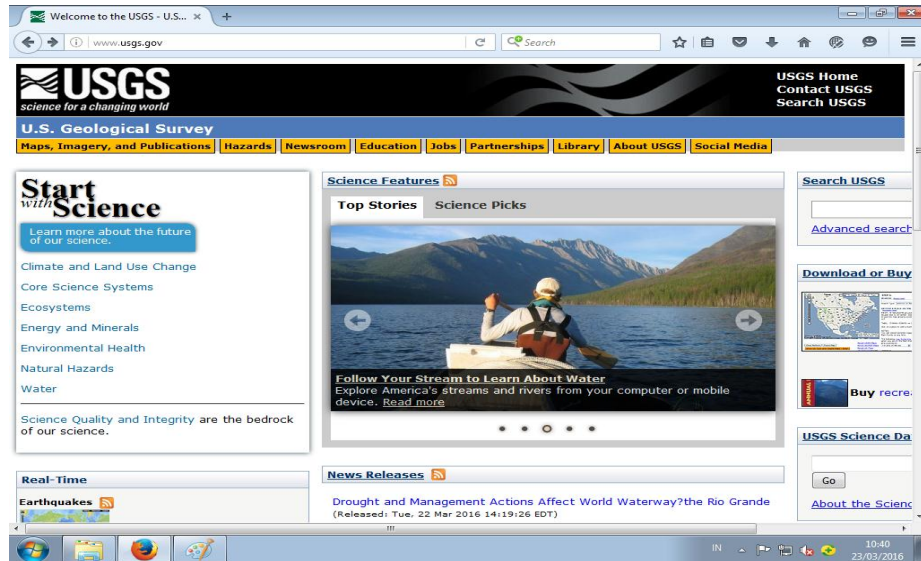
#	Frequency	Average	Min	Max
1	1.1	12.692	123.589	104.127
2	30	143.051	104.127	143.051
3	123.589	104.127	143.051	143.051
4	143.051	104.127	143.051	143.051
5	104.127	143.051	143.051	143.051
6	143.051	104.127	143.051	143.051
7	104.127	143.051	143.051	143.051
8	143.051	104.127	143.051	143.051
9	104.127	143.051	143.051	143.051
10	143.051	104.127	143.051	143.051
11	104.127	143.051	143.051	143.051
12	143.051	104.127	143.051	143.051
13	104.127	143.051	143.051	143.051
14	143.051	104.127	143.051	143.051
15	104.127	143.051	143.051	143.051
16	143.051	104.127	143.051	143.051
17	104.127	143.051	143.051	143.051
18	143.051	104.127	143.051	143.051
19	104.127	143.051	143.051	143.051
20	143.051	104.127	143.051	143.051
21	104.127	143.051	143.051	143.051
22	143.051	104.127	143.051	143.051
23	104.127	143.051	143.051	143.051
24	143.051	104.127	143.051	143.051
25	104.127	143.051	143.051	143.051
26	143.051	104.127	143.051	143.051
27	104.127	143.051	143.051	143.051
28	143.051	104.127	143.051	143.051
29	104.127	143.051	143.051	143.051
30	143.051	104.127	143.051	143.051

Gambar L6. Tampilan file format .hv pada *software Microsoft Excell*

8. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan disetiap titik lokasi penelitian.

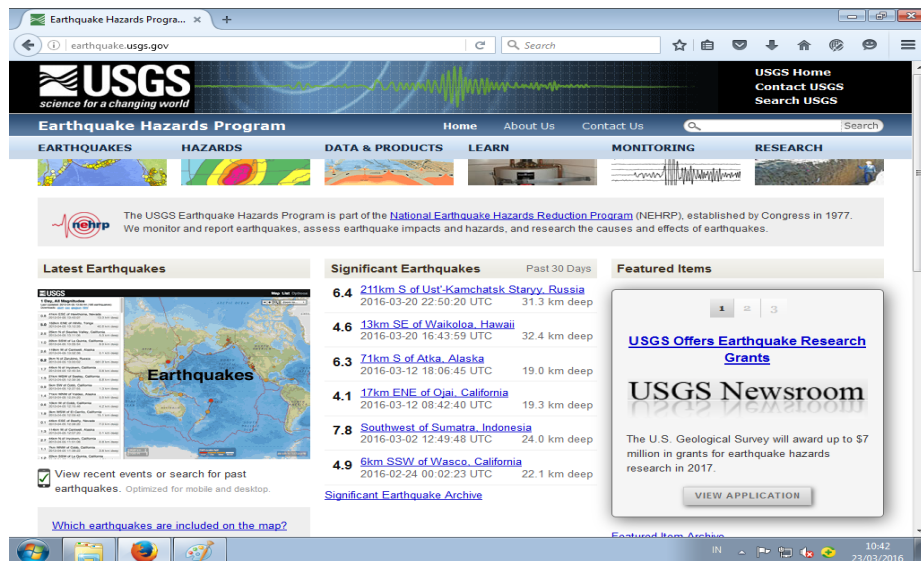
## B. Mencari nilai Vs30

1. Membuka web [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)



Gambar L7. Tampilan depan laman USGS

2. Klik *hazards*, lalu pilih *Earthquake Hazards*, maka akan muncul:



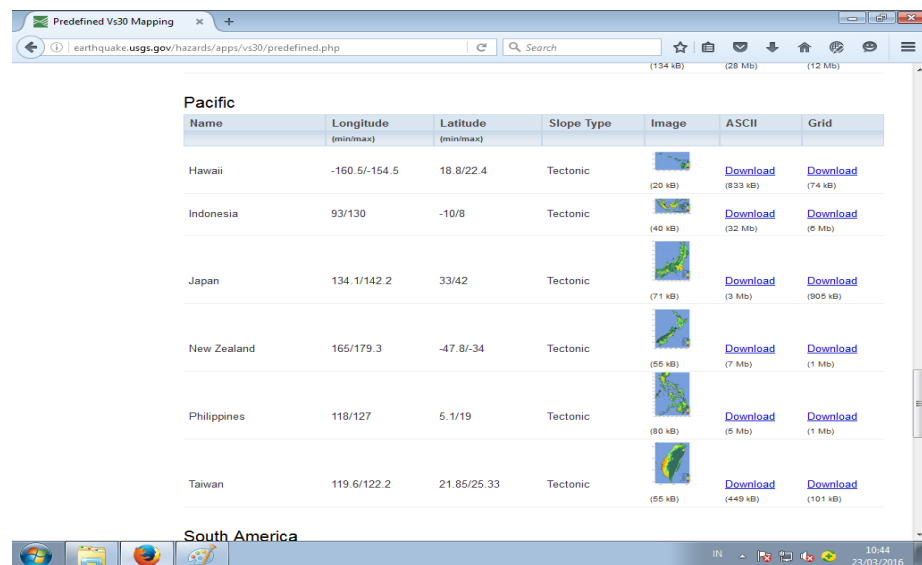
Gambar L8. Tampilan jendela *Earthquake Hazards* pada USGS

3. Klik *DATA & PRODUCTS*, lalu pilih *USGS Global Vs30 Server*.



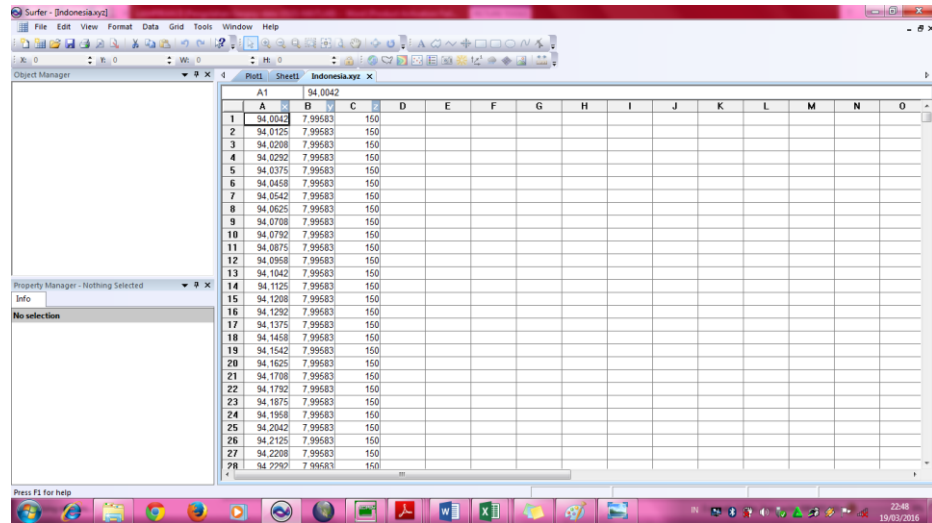
Gambar L9. Tampilan *USGS Global Vs30 Server* pada laman USGS

4. Klik *Select a Predefined Map and Grid*, kemudian cari Indonesia dan download 3 data tersebut.



Gambar L10. Proses mencari file data yang digunakan

- Untuk data dalam format *.txt* dibuka menggunakan *software Surfer-12*, maka akan muncul:



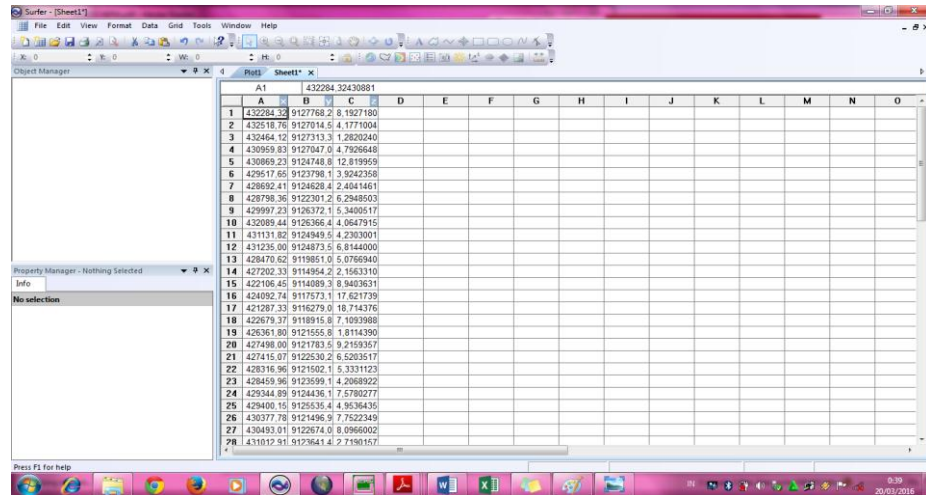
Gambar L11. Tampilan file data format *.txt* pada *software Surfer12*

- Mencocokkan nilai X dan Y dengan data *longitude* dan *latitude* pada data hasil penelitian, sehingga diperoleh nilai Vs30.

### C. Pemetaan Hasil Penelitian

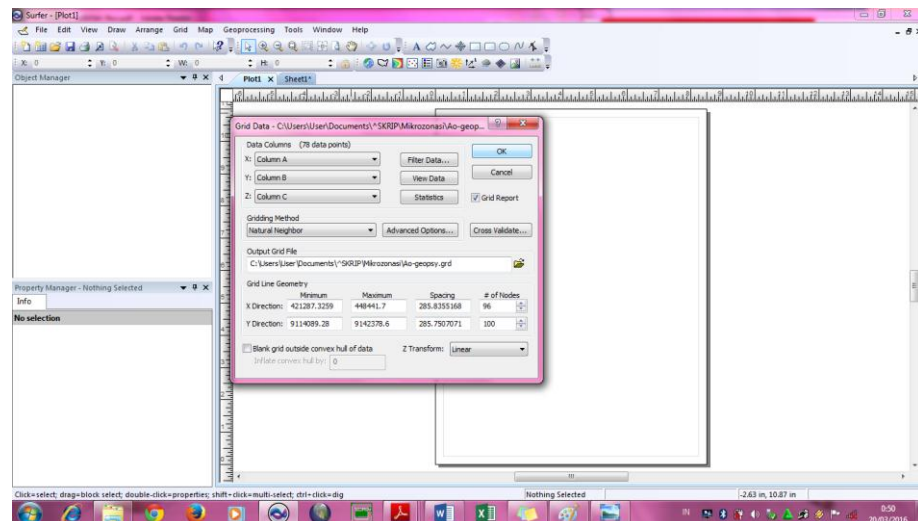
- Buka *software Surfer-12*, pilih *New worksheet*, untuk kolom A diberi nilai  $mT$ , kolom B diberi nilai  $mU$  dan nilai indeks kerentanan seismik dimasukkan pada kolom C.





Gambar L12. Proses mengisi data pada *software Surfer12*

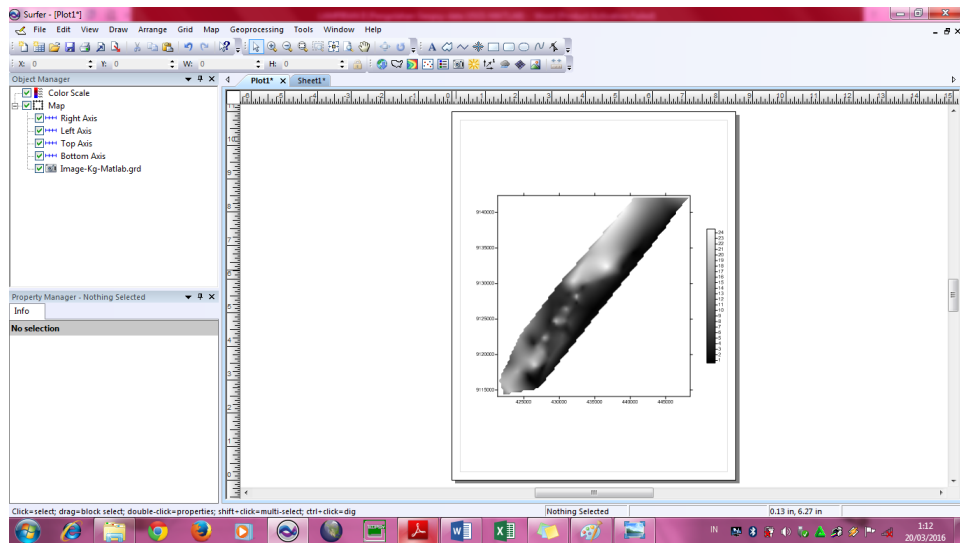
2. Kemudian *Save as* pilih *TXT Text Data* lalu *save*.
3. Klik *icon New Plot*, kemudian klik *icon Grid* pada baris *toolbar*, pilih data yang telah disimpan dengan format *txt text data (.txt)*, klik *open* lalu *Ok*.
4. Selanjutnya akan muncul jendela *Grid Data*, pada *Gridding Method* pilih *Natural Neighbor*, maka akan menghasilkan file format *GRD*.



Gambar L13. Proses pembuatan *Grid Data* pada *software Surfer12*

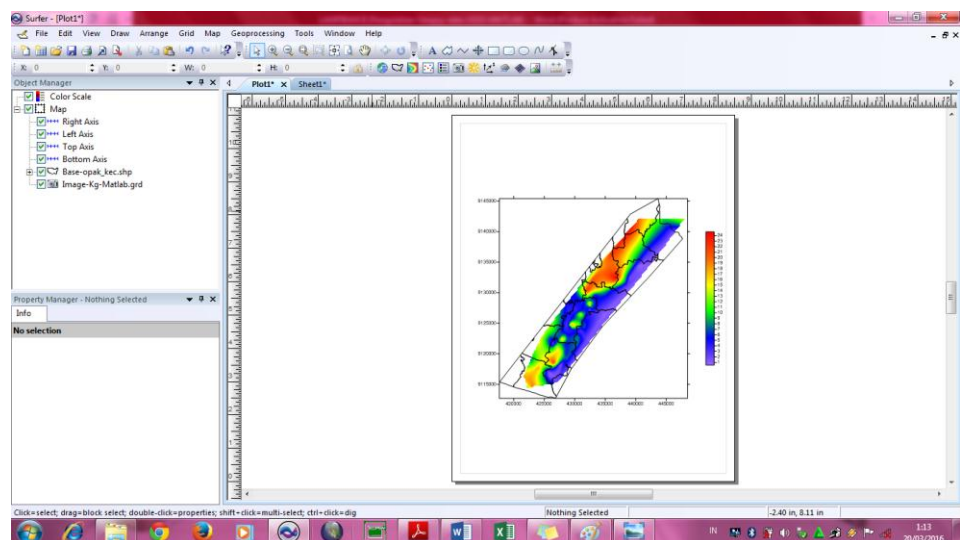
5. Kemudian *Save Grid Data Report*
6. Klik *icon New Image Map* pada *toolbar*, pilih data *GRD* kemudian klik *Open*.





Gambar L14. Tampilan hasil *Grid Data* yang telah dibuat

7. Untuk mengubah warna image, klik *image* pada *Object Manager* kemudian klik *General* dalam *Property Manager* → *Colors* pilih warna. Klik juga *interpolate pixels* dan *show color scale*.
8. Untuk menambahkan peta, gunakan *icon New Base Map* pada barisan toolbar. Cari file peta yang akan digunakan, kemudian tekan CTRL+A, klik *Map* lalu *Overlay*.



Gambar L15. Tampilan hasil *Grid Data* dioverlay dengan peta administrasi

### LAMPIRAN III

#### ANALISA *SESAME* European Research Project dan KURVA H/V

##### 1. Uji Reabilitas dan *Clear peak* H/V

Titik Data	Nw	fg	Ag	<i>Criteria for reliable curve</i>			<i>Criteria for a clear H/V peak</i>					
				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
b1	54	1,44	4,393	v	v	v	v	v	v	-	-	v
b2	52	3,24	4,998	v	v	v	v	v	v	v	-	v
b3	33	9,48	4,43	v	v	v	-	-	v	v	-	v
b4	55	3,6	4,781	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b5	56	1,28	3,745	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b6	61	2,84	2,283	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b7	62	3	1,794	v	v	v	-	-	-	v	-	v
b8	58	1,76	2,656	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b9	38	3,16	4,218	v	v	v	-	v	v	v	-	v
c1	35	3,12	4,415	v	v	v	-	-	v	v	-	v
c9	42	4,16	5,125	v	v	v	-	v	v	v	-	v
c10	29	2,64	5,411	v	v	v	-	v	v	v	-	v
d2	38	2,04	4,5	v	v	v	-	v	v	v	-	v
d3	31	3,4	3,431	v	v	v	-	-	v	v	-	v
d5	59	1,12	2,884	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d6	50	1,2	5,011	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d7	40	1,64	7,273	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d8	26	1,72	3,084	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta1	17	3,8	1,598	v	v	v	-	v	-	v	-	v
ta2	76	1,32	2,691	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta3	16	1,84	4,261	v	v	v	-	-	v	v	-	v
ta4	74	3,44	4,003	v	v	v	v	v	v	v	-	v
ta5	61	3,16	3,186	v	v	v		v	v	v	-	v
ta6	63	2,68	4,055	v	v	v	v	-	v	v	-	v
ta7	74	3,44	3,982	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta8	61	2,56	4,768	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta9	43	2,96	5,521	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta10	73	4,04	2,415	v	v	v	-	-	v	v	-	v
ta11	77	2,8	3,921	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-1	52	3,76	3,297	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-4	11	5,24	7,72	v	v	-	-	v	v	v	-	-

Titik-5	22	2,04	5,501	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v
Titik-9	31	3,32	3,234	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v
Titik-11	19	2	3,6	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-13	28	3,4	2,937	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-19	28	1	1,281	v	v	v	-	-	-	v	v	-	v
Titik-23	26	4,48	2,39	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-24	42	2,8	1,079	v	v	v	-	v	-	v	v	-	v
Titik-25	33	4	0,9855	v	v	v	-	-	-	v	v	-	v
Titik-26	37	1,96	5,847	v	v	v	-	v	v	v	v	-	-
Titik-28	40	1,2	3,881	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-34	50	1,2	5,835	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v
Titik-35	47	1,12	4,049	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-37	23	1,08	3,479	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v
Titik-43	29	0,6	2,58	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
Titik-48	40	1,16	4,214	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
1	36	1,4	5,876	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
2	33	18,64	8,5	v	v	-	-	v	v	v	v	-	-
3	35	2,64	3,11	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
4	51	1,2	3,848	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v
5	20	0,92	3,949	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
6	72	2,84	7,187	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
7	50	0,76	3,555	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
8	36	1,8	7,065	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
9	57	13,48	3,069	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v
10	44	4,44	4,304	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
11	35	1,12	8,21	v	v	v	-	v	v	v	-	-	v
12	42	3,4	4,354	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
13	51	2,92	3,393	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
14	39	1,4	5,84	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
15	26	3,04	4,964	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
16	30	1,24	1,84	v	v	v	-	-	-	v	v	-	v
17	56	0,56	3,502	v	v	v	-	-	v	-	-	-	v
18	41	2,48	3,713	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
19	30	1,08	7,253	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v
20	24	6,64	5,538	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
21	34	0,76	4,975	v	v	v	-	v	v	v	v	-	v
22	20	1,44	5,536	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v
23	15Hz	10,53	2,099	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v
24	26	7,64	4,345	v	v	v	-	-	v	-	-	-	v
26	53	0,88	4,191	v	v	v	v	-	-	-	-	v	v
28	20	4,6	3,423	v	v	v	v	v	v	v	-	v	v

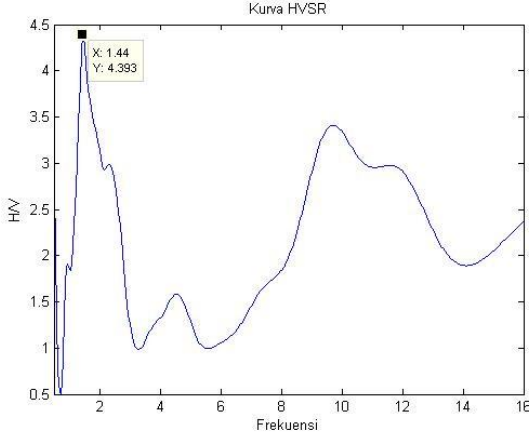
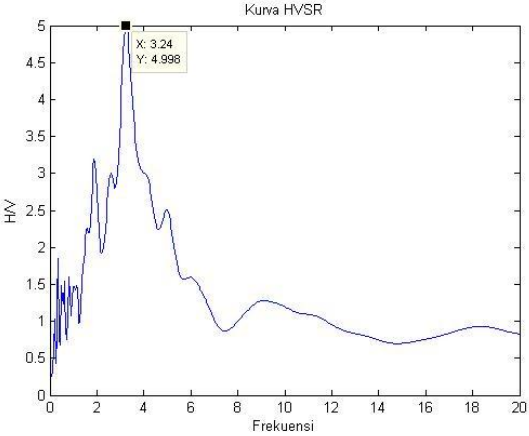
30	46	1,04	7,448	v	v	-	v	v	v	-	-	v
31	70	0,76	4,527	v	v	v	-	v	v	-	v	-
34	33	17,52	2,399	v	v	v	-	v	v	-	v	-
36	32	1,84	4,784	v	v	v	v	v	v	-	v	v
38	29	17,52	3,305	v	v	v	-	v	v	-	v	-
40	32	0,8	5,368	v	v	v	v	v	v	-	v	v
41	45	1,56	4,588	v	v	v	v	v	v	-	v	v
43	38	1,2	5,188	v	v	v	v	v	v	-	v	v
45	12	0,76	4,925	v	v	v	v	v	v	-	v	v

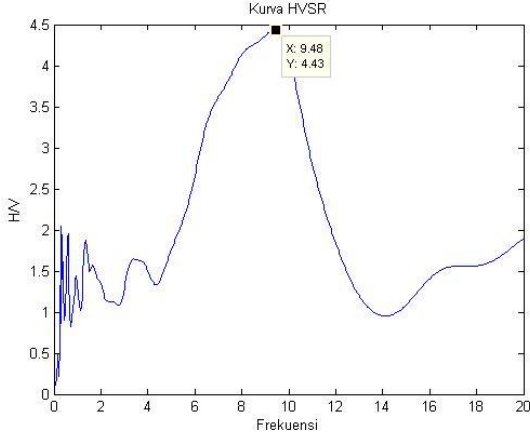
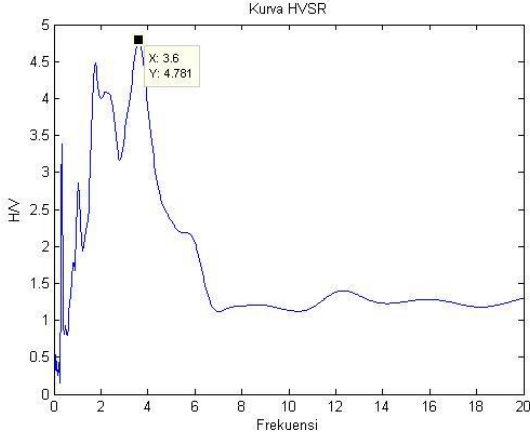
**Keterangan Syarat :**

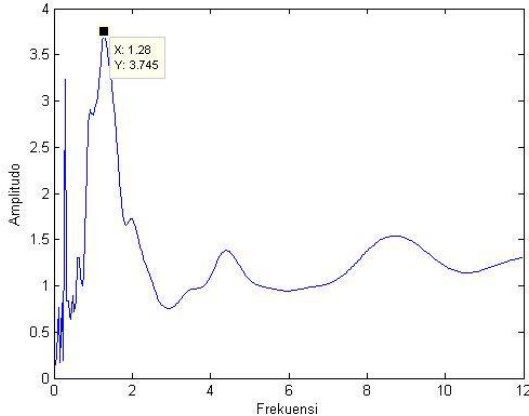
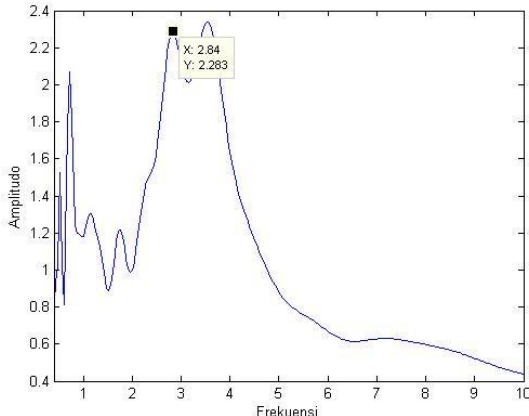
<i>Criteria for a reliable H/V curve</i>		<i>Criteria for a clear H/V peak</i>	
i)	$f_o > 10/l_w$	i)	$\exists f^- \in [f_o/4, f_o] \mid A_{H/V}(f^-) < A_o/2$
		ii)	$\exists f^+ \in [f_o, 4f_o] \mid A_{H/V}(f^+) < A_o/2$
ii)	$n_c(f_o) > 200$	iii)	$A_o > 2$
		iv)	$f_{peak}[A_{H/V} \pm \sigma_A(f)] = f_o \pm 5\%$
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_o < f < 2f_o$ if $f_o > 0,5$ Hz or $\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_o < f < 2f_o$ if $f_o > 0,5$ Hz	v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_o)$
		vi)	$\sigma_A(f_o) < \theta(f_o)$

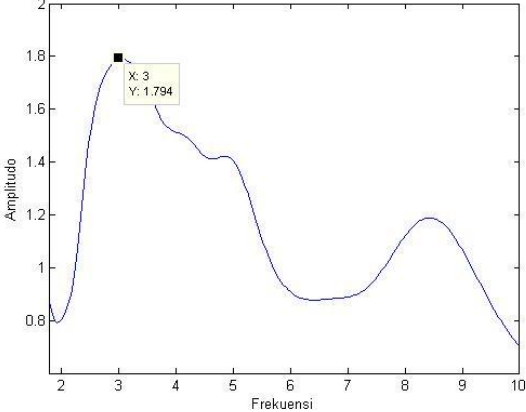
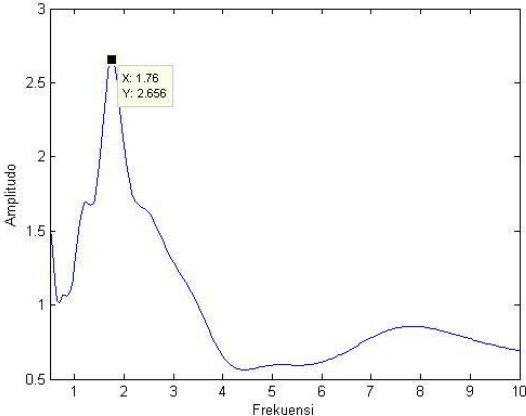
Tanda 'v' menandakan syarat terpenuhi, dan tanda '-' menandakan syarat tak terpenuhi

## 2. Kurva H/V

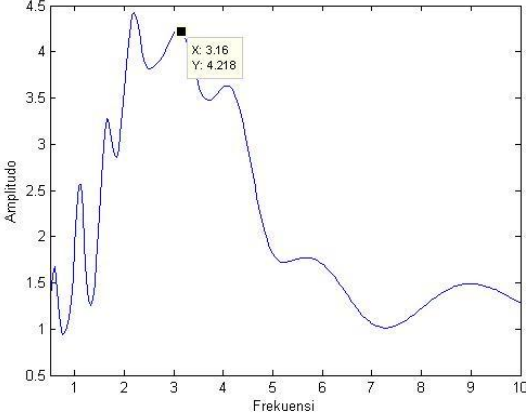
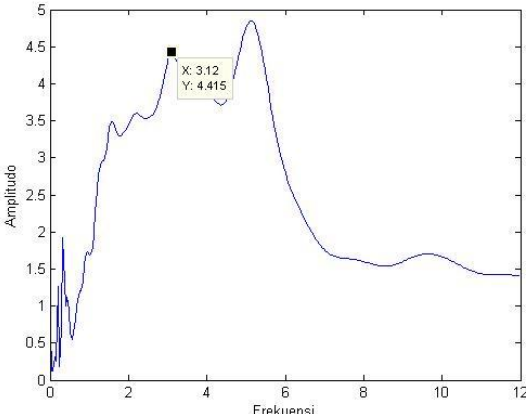
<p style="text-align: center;"><b>B1</b></p> 	<p> <math>f = 1,44</math>  <math>A = 4,393</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,44 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1944 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,914 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,054 &lt; 2,197</math></li> <li>ii. <math>1,860 &lt; 2,197</math></li> <li>iii. <math>4,393 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,641 &lt; 0,144</math></li> <li>vi. <math>0,914 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>B2</b></p> 	<p> <math>f = 3,24</math>  <math>A = 4,998</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,24 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4374 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,899 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,471 &lt; 2,499</math></li> <li>ii. <math>1,546 &lt; 2,499</math></li> <li>iii. <math>4,998 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,426 &lt; 0,162</math></li> <li>vi. <math>0,899 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

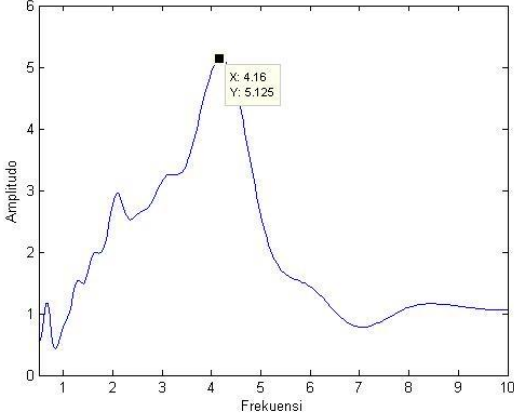
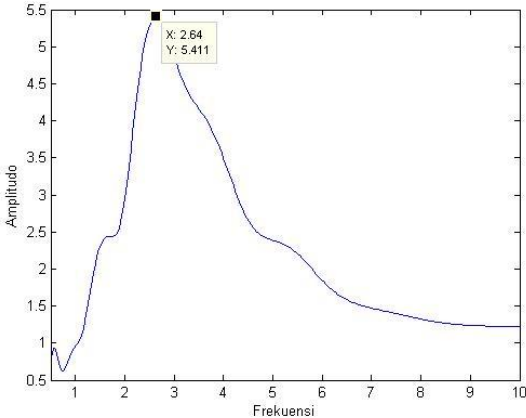
<p style="text-align: center;"><b>B3</b></p> 	<p> <math>f = 9,48</math>  <math>A = 4,430</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>9,48 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>7821 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,188 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,728 &lt; 2,215</math></li> <li>ii. <math>2,389 &lt; 2,215</math></li> <li>iii. <math>4,430 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>4,128 &lt; 0,474</math></li> <li>vi. <math>1,188 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>B4</b></p> 	<p> <math>f = 3,6</math>  <math>A = 4,781</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,6 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4950 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,121 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,529 &lt; 2,391</math></li> <li>ii. <math>1,618 &lt; 2,391</math></li> <li>iii. <math>4,781 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,576 &lt; 0,180</math></li> <li>vi. <math>1,121 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

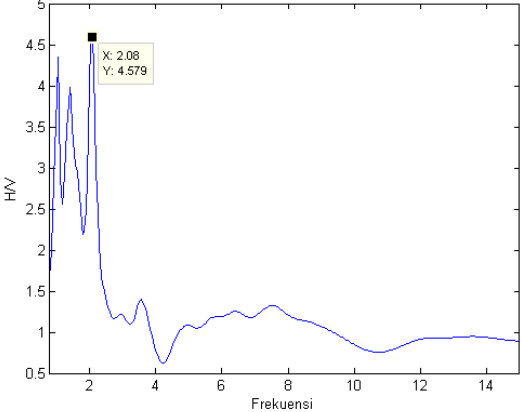
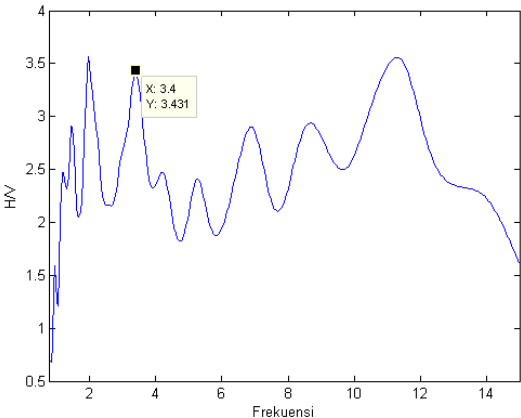
<p style="text-align: center;"><b>B5</b></p> 	<p> <math>f = 1,28</math>  <math>A = 3,745</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,28 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1792 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,903 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,199 &lt; 1,873</math></li> <li>ii. <math>1,312 &lt; 1,873</math></li> <li>iii. <math>3,745 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,572 &lt; 0,128</math></li> <li>vi. <math>0,903 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>B6</b></p> 	<p> <math>f = 2,84</math>  <math>A = 2,283</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,84 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4331 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,541 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,382 &lt; 1,142</math></li> <li>ii. <math>0,829 &lt; 1,142</math></li> <li>iii. <math>2,283 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,241 &lt; 0,142</math></li> <li>vi. <math>0,541 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

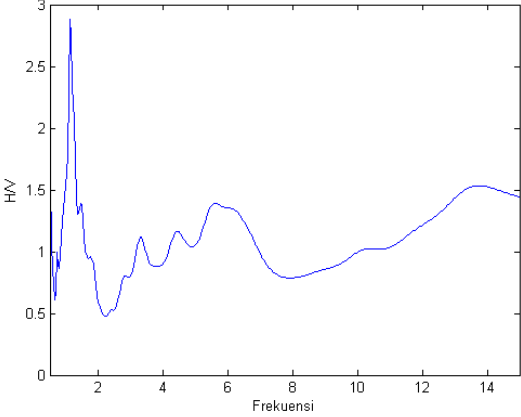
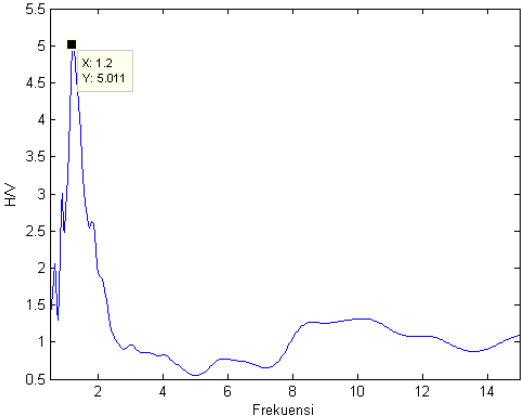
<p style="text-align: center;"><b>B7</b></p> 	<p> <math>f = 3</math>  <math>A = 1,794</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4650 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,307 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,264 &lt; 0,897</math></li> <li>ii. <math>1,017 &lt; 0,897</math></li> <li>iii. <math>1,794 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,311 &lt; 0,150</math></li> <li>vi. <math>0,307 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>B8</b></p> 	<p> <math>f = 1,76</math>  <math>A = 2,656</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,76 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>2552 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,456 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,675 &lt; 1,328</math></li> <li>ii. <math>0,937 &lt; 1,328</math></li> <li>iii. <math>2,656 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,779 &lt; 0,176</math></li> <li>vi. <math>0,456 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>

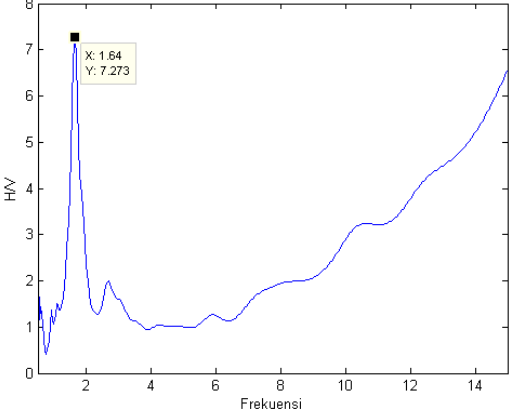
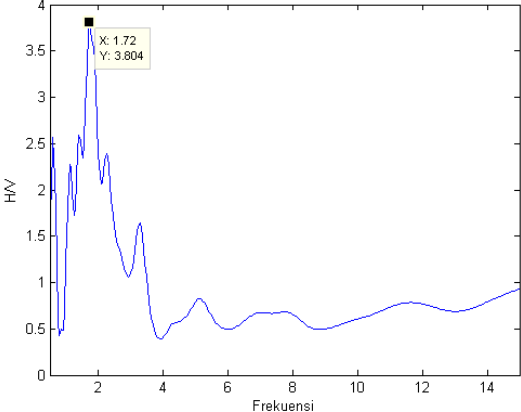


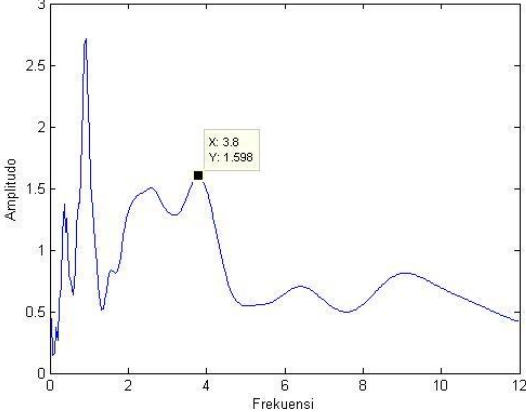
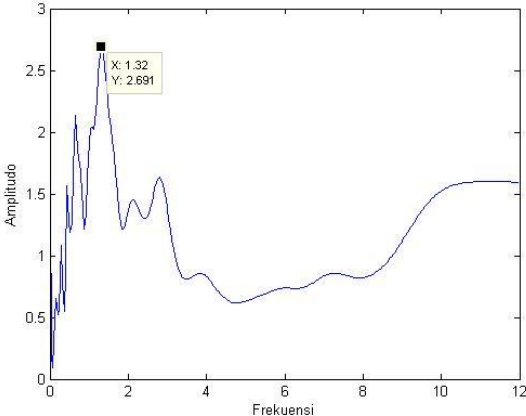
<p style="text-align: center;"><b>B9</b></p> 	<p> <math>f = 3,16</math>  <math>A = 4,218</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,16 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>3002 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,995 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,239 &lt; 2,109</math></li> <li>ii. <math>1,615 &lt; 2,109</math></li> <li>iii. <math>4,218 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,380 &lt; 0,158</math></li> <li>vi. <math>0,995 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>C1</b></p> 	<p> <math>f = 3,12</math>  <math>A = 4,415</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,12 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>2730 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,561 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,329 &lt; 2,208</math></li> <li>ii. <math>2,353 &lt; 2,208</math></li> <li>iii. <math>4,415 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,368 &lt; 0,156</math></li> <li>vi. <math>0,561 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

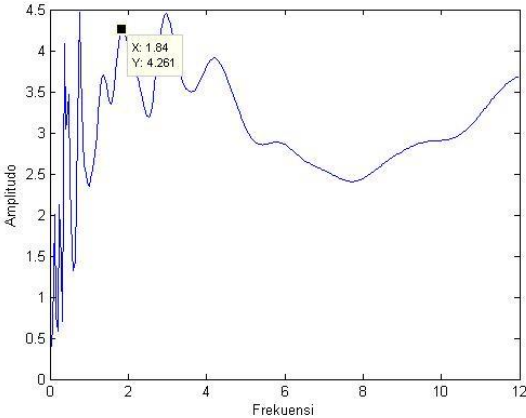
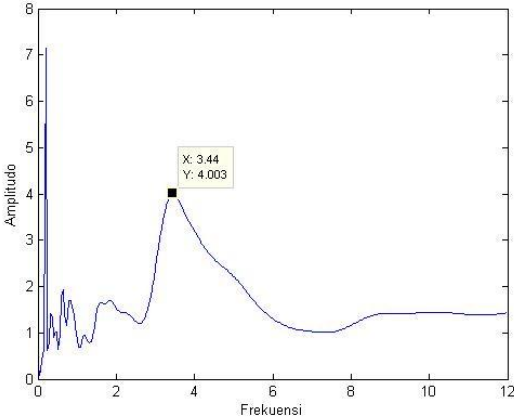
<p style="text-align: center;"><b>C9</b></p> 	<p> <math>f = 4,16</math>  <math>A = 5,125</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>4,16 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4368 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,371 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,987 &lt; 2,563</math></li> <li>ii. <math>1,457 &lt; 2,563</math></li> <li>iii. <math>5,125 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,819 &lt; 0,208</math></li> <li>vi. <math>1,371 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>C10</b></p> 	<p> <math>f = 2,64</math>  <math>A = 5,411</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,64 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1914 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,075 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,833 &lt; 2,706</math></li> <li>ii. <math>2,131 &lt; 2,706</math></li> <li>iii. <math>5,411 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,160 &lt; 0,132</math></li> <li>vi. <math>1,075 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

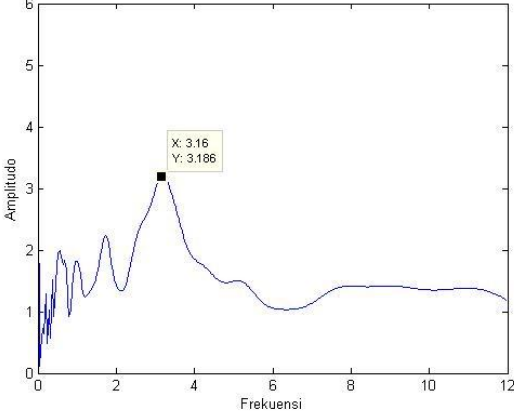
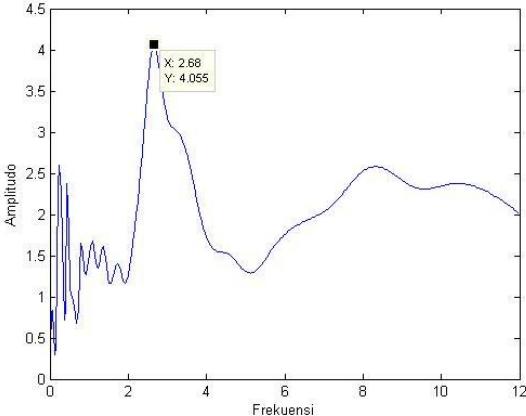
<p style="text-align: center;"><b>D2</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 2,04</math>  <math>A = 4,5</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,04 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1938 &gt; 200</math></li> <li><math>1,020 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,870 &lt; 2,250</math></li> <li><math>1,249 &lt; 2,250</math></li> <li><math>4,5 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,895 &lt; 0,102</math></li> <li><math>1,020 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>D3</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 3,4</math>  <math>A = 3,431</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,4 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2635 &gt; 200</math></li> <li><math>0,357 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,511 &lt; 1,716</math></li> <li><math>2,601 &lt; 1,716</math></li> <li><math>3,431 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,669 &lt; 0,170</math></li> <li><math>0,357 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Wonosari  Batuan Dasar : Batugamping terumbu, kalkarenit dan kalkarenit tufan</p>

<p style="text-align: center;"><b>D5</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,12</math>  <math>A = 2,884</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,12 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1652 &gt; 200</math></li> <li><math>0,556 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,363 &lt; 1,442</math></li> <li><math>0,968 &lt; 1,442</math></li> <li><math>2,884 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,502 &lt; 0,112</math></li> <li><math>0,556 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Alluvium  Batuan Dasar : Kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai</p>
<p style="text-align: center;"><b>D6</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,2</math>  <math>A = 5,011</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,2 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1500 &gt; 200</math></li> <li><math>1,048 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,472 &lt; 2,506</math></li> <li><math>1,101 &lt; 2,506</math></li> <li><math>5,011 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,537 &lt; 0,120</math></li> <li><math>1,048 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

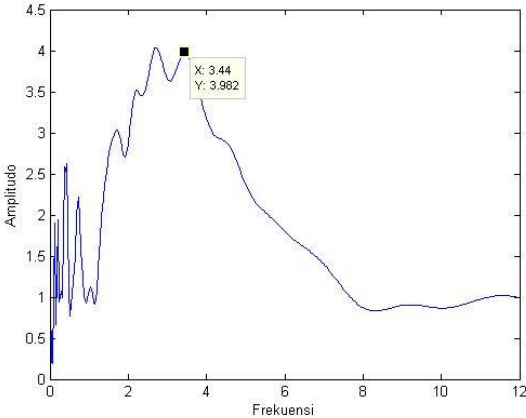
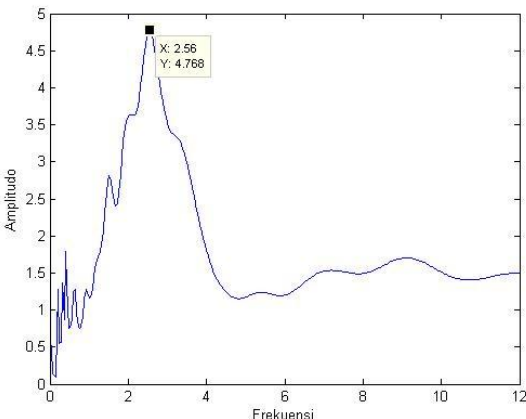
<p style="text-align: center;"><b>D7</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,64</math>  <math>A = 7,273</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,64 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1640 &gt; 200</math></li> <li><math>1,438 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,188 &lt; 3,637</math></li> <li><math>0,961 &lt; 3,637</math></li> <li><math>7,273 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,722 &lt; 0,164</math></li> <li><math>1,438 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>D8</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,72</math>  <math>A = 3,084</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,72 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1118 &gt; 200</math></li> <li><math>0,759 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,978 &lt; 1,542</math></li> <li><math>1,036 &lt; 1,542</math></li> <li><math>3,084 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,756 &lt; 0,172</math></li> <li><math>0,759 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

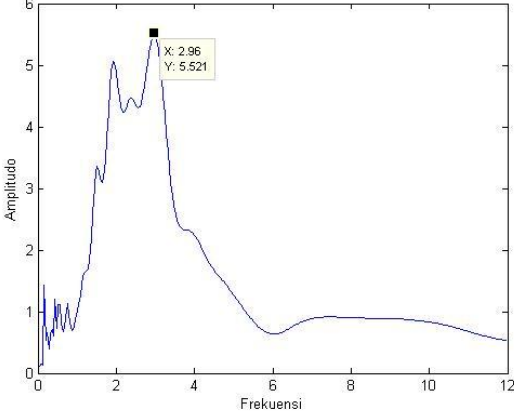
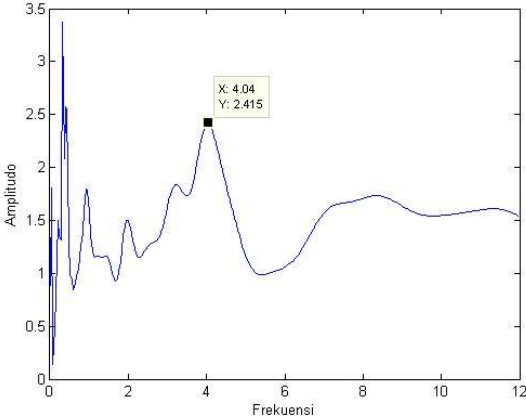
<p style="text-align: center;"><b>Titik-1</b></p> 	<p> <math>f = 3,8</math>  <math>A = 1,598</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,8 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>18772 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,403 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,268 &lt; 0,799</math></li> <li>ii. <math>0,585 &lt; 0,799</math></li> <li>iii. <math>1,598 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,657 &lt; 0,190</math></li> <li>vi. <math>0,403 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-4</b></p> 	<p> <math>f = 1,32</math>  <math>A = 2,691</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,32 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>479,16 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,436 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,740 &lt; 1,346</math></li> <li>ii. <math>1,126 &lt; 1,346</math></li> <li>iii. <math>2,691 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,606 &lt; 0,132</math></li> <li>vi. <math>0,436 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

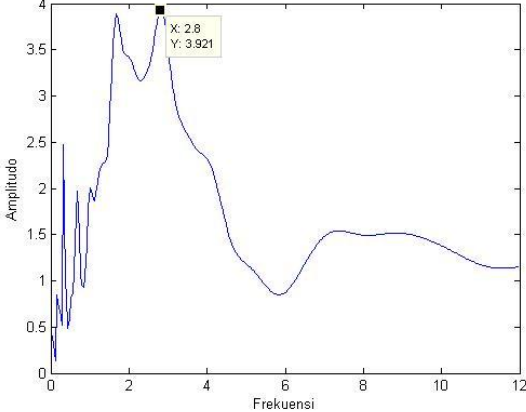
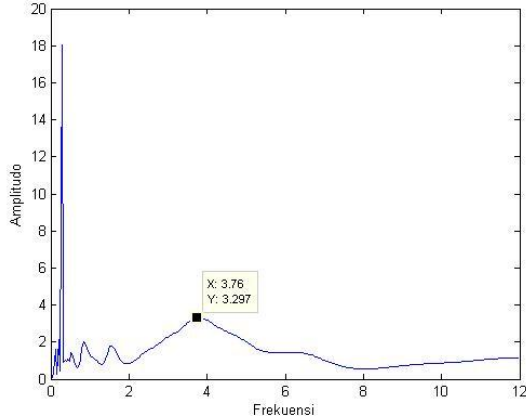
<p style="text-align: center;"><b>Titik-5</b></p> 	<p> <math>f = 1,84</math>  <math>A = 4,261</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,84 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1862,08 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,557 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,128 &lt; 2,131</math></li> <li>ii. <math>3,308 &lt; 2,131</math></li> <li>iii. <math>4,261 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,618 &lt; 0,184</math></li> <li>vi. <math>0,557 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-9</b></p> 	<p> <math>f = 3,44</math>  <math>A = 4,003</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,44 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>9171,04 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,902 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,728 &lt; 2,002</math></li> <li>ii. <math>1,629 &lt; 2,002</math></li> <li>iii. <math>4,003 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,507 &lt; 0,172</math></li> <li>vi. <math>0,902 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

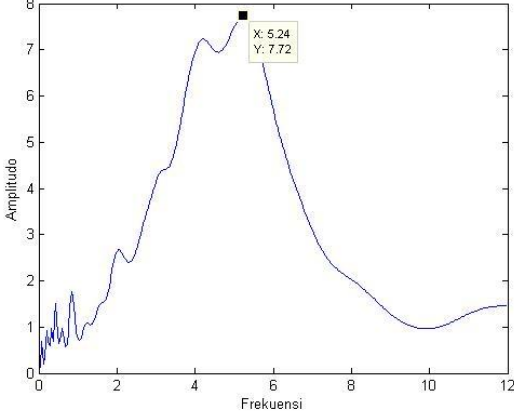
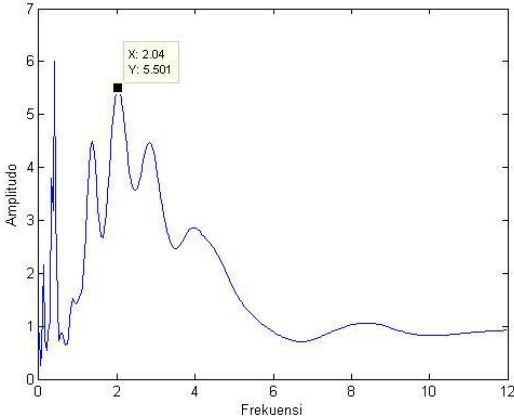
<p style="text-align: center;"><b>Titik-11</b></p> 	<p> <math>f = 3,16</math>  <math>A = 3,186</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,16 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4743,16 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,625 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,922 &lt; 1,593</math></li> <li>ii. <math>1,433 &lt; 1,593</math></li> <li>iii. <math>3,186 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,380 &lt; 0,158</math></li> <li>vi. <math>0,625 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-13</b></p> 	<p> <math>f = 2,68</math>  <math>A = 4,055</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,68 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>5027,68 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,879 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,811 &lt; 2,028</math></li> <li>ii. <math>2,180 &lt; 2,028</math></li> <li>iii. <math>4,055 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,172 &lt; 0,134</math></li> <li>vi. <math>0,879 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

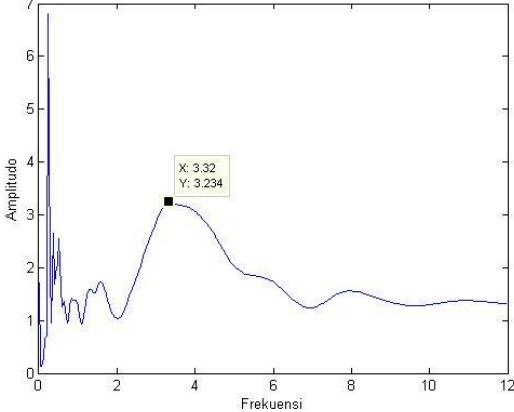
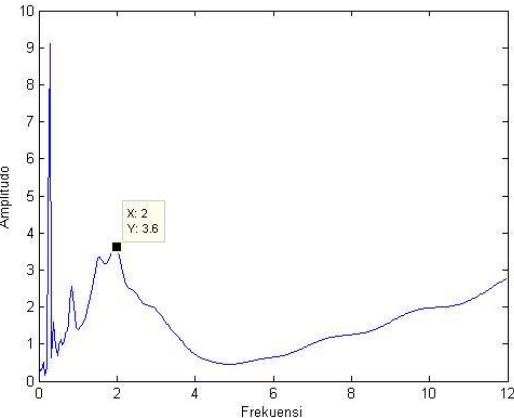


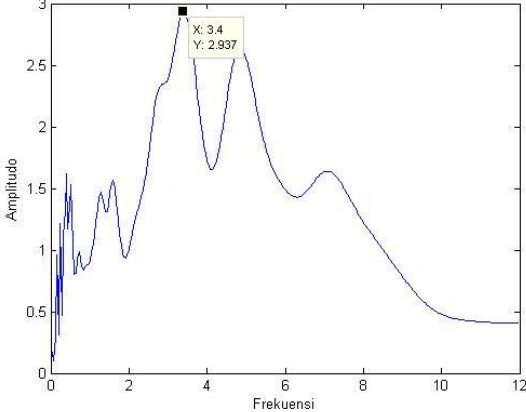
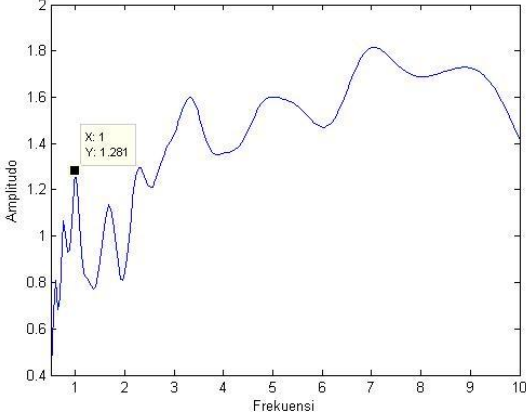
<p style="text-align: center;"><b>Titik-19</b></p>  <p>The figure is a line graph titled 'Titik-19' showing the amplitude spectrum. The y-axis is labeled 'Amplitudo' and ranges from 0 to 4.5. The x-axis is labeled 'Frekuensi' and ranges from 0 to 12. The graph shows a blue line with several peaks. A specific peak is highlighted with a black square and a yellow callout box containing the text 'X: 3.44' and 'Y: 3.982'.</p>	<p> <math>f = 3,44</math>  <math>A = 3,982</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,44 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>8283 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,830 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,993 &lt; 1,991</math></li> <li>ii. <math>1,426 &lt; 1,991</math></li> <li>iii. <math>3,982 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,507 &lt; 0,172</math></li> <li>vi. <math>0,830 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-23</b></p>  <p>The figure is a line graph titled 'Titik-23' showing the amplitude spectrum. The y-axis is labeled 'Amplitudo' and ranges from 0 to 5. The x-axis is labeled 'Frekuensi' and ranges from 0 to 12. The graph shows a blue line with several peaks. A specific peak is highlighted with a black square and a yellow callout box containing the text 'X: 2.56' and 'Y: 4.768'.</p>	<p> <math>f = 2,56</math>  <math>A = 4,768</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,56 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>4259,84 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,126 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,828 &lt; 2,384</math></li> <li>ii. <math>1,786 &lt; 2,384</math></li> <li>iii. <math>4,768 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,126 &lt; 0,128</math></li> <li>vi. <math>1,126 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

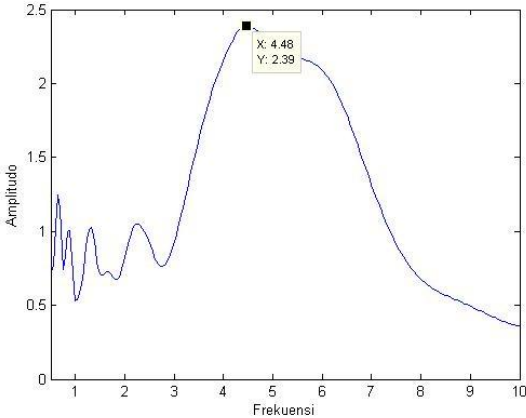
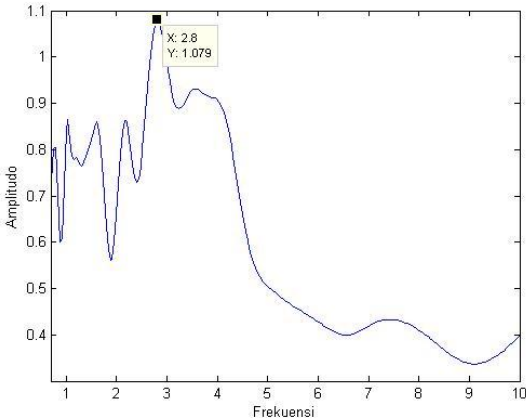
<p style="text-align: center;"><b>Titik-24</b></p> 	<p> <math>f = 2,96</math>  <math>A = 5,521</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,96 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>9199,68 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,548 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,437 &lt; 2,761</math></li> <li>ii. <math>1,218 &lt; 2,761</math></li> <li>iii. <math>5,521 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,299 &lt; 0,148</math></li> <li>vi. <math>1,548 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-25</b></p> 	<p> <math>f = 4,04</math>  <math>A = 2,415</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>4,04 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>13465,32 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,379 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,482 &lt; 1,208</math></li> <li>ii. <math>1,461 &lt; 1,208</math></li> <li>iii. <math>2,415 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,761 &lt; 0,202</math></li> <li>vi. <math>0,379 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

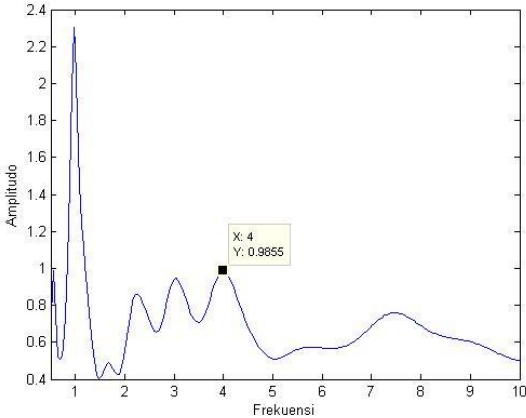
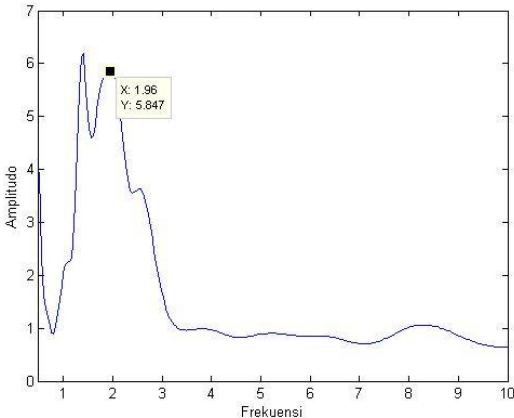
<p style="text-align: center;"><b>Titik-26</b></p> 	<p> <math>f = 2,8</math>  <math>A = 3,921</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,8 &gt; 0,4</math></li> <li><math>7252 &gt; 200</math></li> <li><math>0,965 &lt; 2</math></li> </ol> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,840 &lt; 1,961</math></li> <li><math>1,591 &lt; 1,961</math></li> <li><math>3,921 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,218 &lt; 0,140</math></li> <li><math>0,965 &lt; 1,580</math></li> </ol> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-28</b></p> 	<p> <math>f = 3,76</math>  <math>A = 3,297</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,76 &gt; 0,4</math></li> <li><math>14137,6 &gt; 200</math></li> <li><math>0,765 &lt; 2</math></li> </ol> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,760 &lt; 1,649</math></li> <li><math>1,211 &lt; 1,649</math></li> <li><math>3,297 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,645 &lt; 0,188</math></li> <li><math>0,765 &lt; 1,580</math></li> </ol> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

<p style="text-align: center;"><b>Titik-34</b></p> 	<p><math>f = 5,24</math>  <math>A = 7,72</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>5,24 &gt; 0,4</math></li> <li><math>34322 &gt; 200</math></li> <li><math>2,369 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>4,667 &lt; 3,860</math></li> <li><math>1,721 &lt; 3,860</math></li> <li><math>7,720 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>2,281 &lt; 0,262</math></li> <li><math>2,369 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-35</b></p> 	<p><math>f = 2,04</math>  <math>A = 5,501</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,04 &gt; 0,4</math></li> <li><math>4889,88 &gt; 200</math></li> <li><math>0,947 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,750 &lt; 2,751</math></li> <li><math>2,025 &lt; 2,751</math></li> <li><math>5,501 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,895 &lt; 0,102</math></li> <li><math>0,947 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

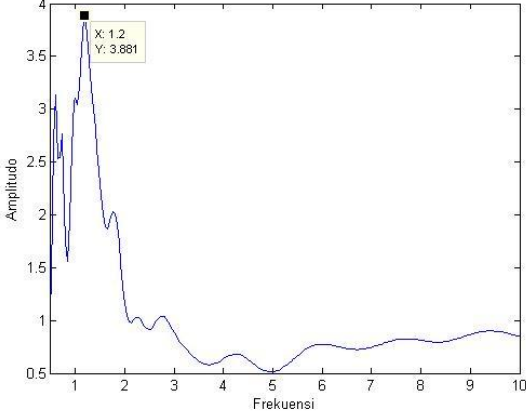
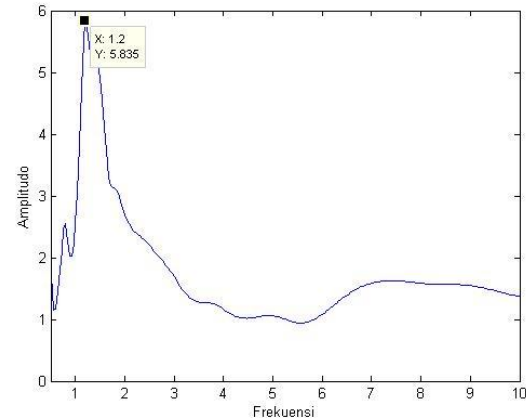
<p style="text-align: center;"><b>Titik-37</b></p> 	<p> <math>f = 3,32</math>  <math>A = 3,324</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,32 &gt; 0,4</math></li> <li><math>6338 &gt; 200</math></li> <li><math>0,686 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,804 &lt; 1,617</math></li> <li><math>1,663 &lt; 1,617</math></li> <li><math>3,324 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,461 &lt; 0,166</math></li> <li><math>0,686 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda          Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat          dan leleran lava tak          terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Titik-43</b></p> 	<p> <math>f = 2</math>  <math>A = 3,6</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2900 &gt; 200</math></li> <li><math>0,842 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,355 &lt; 1,800</math></li> <li><math>1,134 &lt; 1,800</math></li> <li><math>3,600 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,883 &lt; 0,020</math></li> <li><math>0,842 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda          Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat          dan leleran lava tak          terpisahkan.</p>

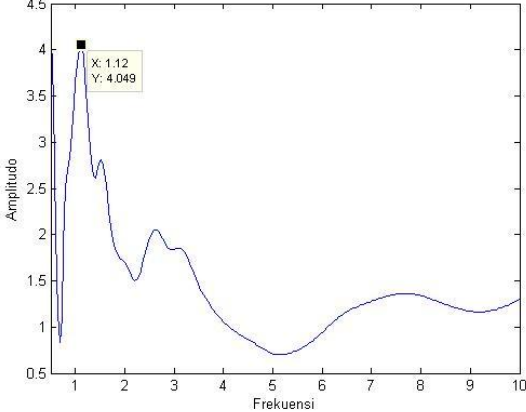
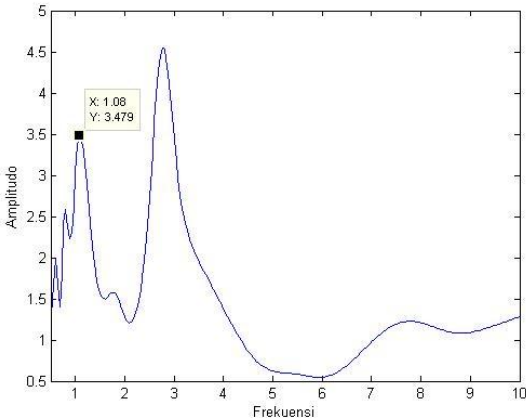
<p style="text-align: center;"><b>Titik-48</b></p> 	<p><math>f = 3,4</math>  <math>A = 2,937</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,4 &gt; 0,4</math></li> <li><math>11560 &gt; 200</math></li> <li><math>0,083 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,675 &lt; 1,469</math></li> <li><math>1,141 &lt; 1,469</math></li> <li><math>2,937 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,387 &lt; 0,170</math></li> <li><math>0,083 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>TA1</b></p> 	<p><math>f = 1</math>  <math>A = 1,281</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1 &gt; 0,4</math></li> <li><math>425 &gt; 200</math></li> <li><math>0,146 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,023 &lt; 0,641</math></li> <li><math>1,223 &lt; 0,641</math></li> <li><math>1,281 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,445 &lt; 0,150</math></li> <li><math>0,146 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

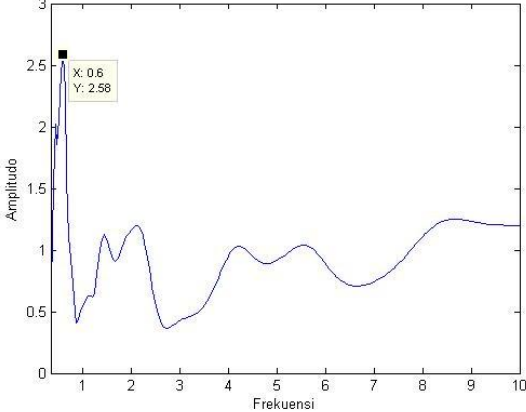
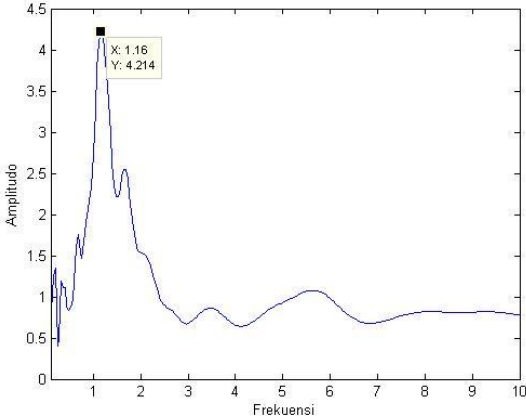
<p style="text-align: center;"><b>TA2</b></p> 	<p> <math>f = 4,48</math>  <math>A = 2,390</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>4,48 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>8512 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,665 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,321 &lt; 1,195</math></li> <li>ii. <math>0,745 &lt; 1,195</math></li> <li>iii. <math>2,390 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,957 &lt; 0,224</math></li> <li>vi. <math>0,665 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>TA3</b></p> 	<p> <math>f = 2,8</math>  <math>A = 1,079</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,8 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1120 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,188 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>0,800 &lt; 0,540</math></li> <li>ii. <math>0,522 &lt; 0,540</math></li> <li>iii. <math>1,079 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,230 &lt; 0,140</math></li> <li>vi. <math>0,188 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>

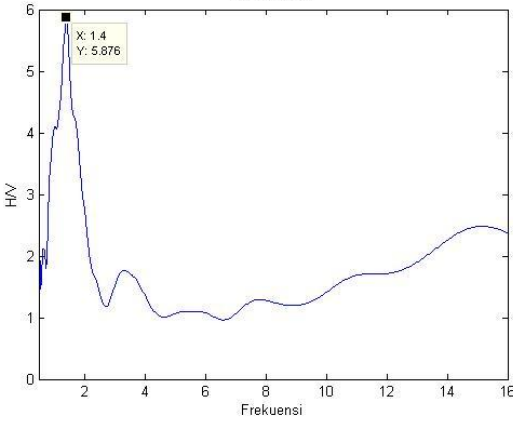
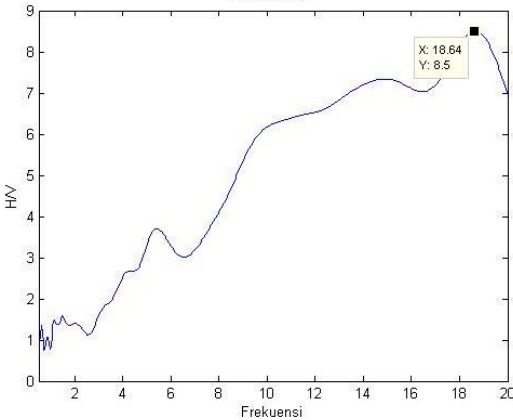
<p style="text-align: center;"><b>TA4</b></p> 	<p> <math>f = 4</math>  <math>A = 0,986</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>4 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>7400 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,130 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>0,753 &lt; 0,493</math></li> <li>ii. <math>0,6 &lt; 0,493</math></li> <li>iii. <math>0,986 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>1,749 &lt; 0,2</math></li> <li>vi. <math>0,130 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>TA5</b></p> 	<p> <math>f = 1,96</math>  <math>A = 5,847</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,96 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>2989 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,855 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,746 &lt; 2,924</math></li> <li>ii. <math>1,333 &lt; 2,924</math></li> <li>iii. <math>5,847 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,860 &lt; 0,196</math></li> <li>vi. <math>1,855 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>

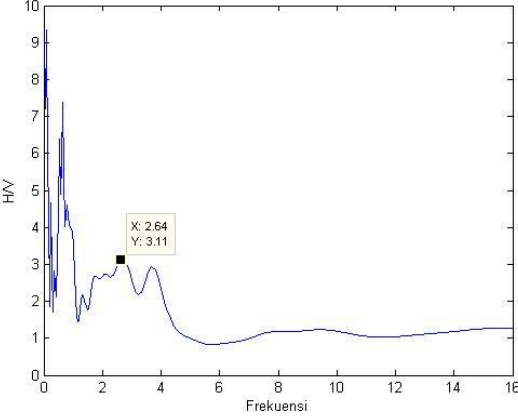
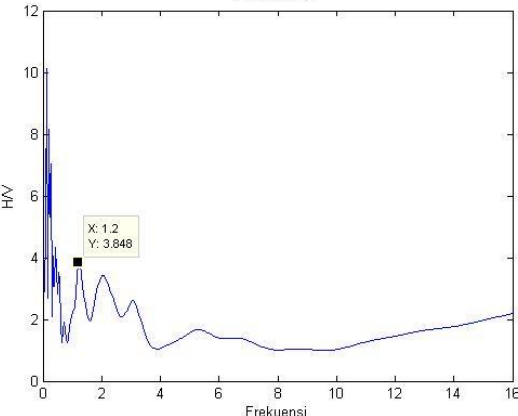


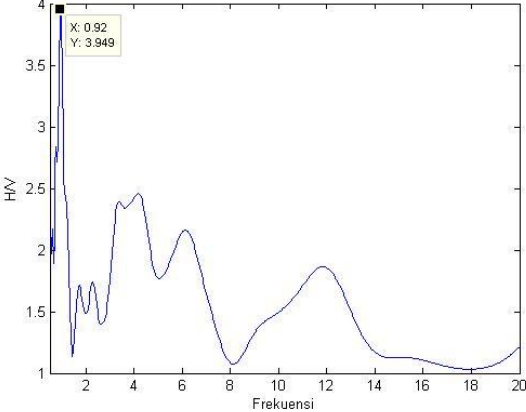
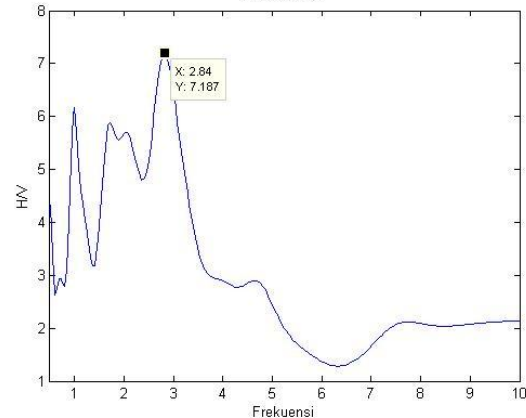
<p style="text-align: center;"><b>TA6</b></p> 	<p> <math>f = 1,2</math>  <math>A = 3,881</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,2 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1890 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,923 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,599 &lt; 1,941</math></li> <li>ii. <math>1,051 &lt; 1,941</math></li> <li>iii. <math>3,881 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,537 &lt; 0,162</math></li> <li>vi. <math>0,923 &lt; 1,570</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>TA7</b></p> 	<p> <math>f = 1,2</math>  <math>A = 5,835</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,2 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>2220 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,207 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,806 &lt; 2,918</math></li> <li>ii. <math>2,034 &lt; 2,918</math></li> <li>iii. <math>5,835 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,537 &lt; 0,120</math></li> <li>vi. <math>1,207 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat            dan leleran lava tak            terpisahkan.         </p>

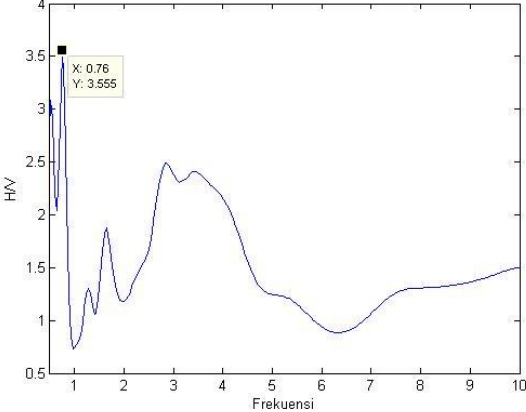
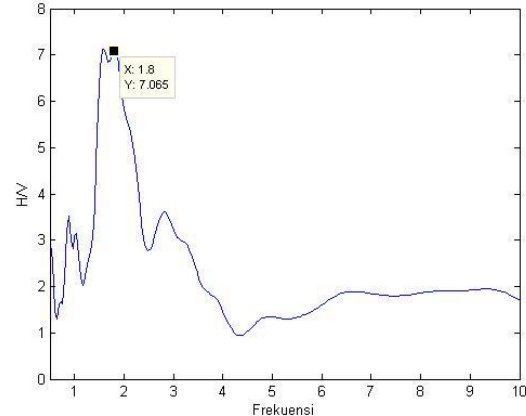
<p style="text-align: center;"><b>TA8</b></p> 	<p> <math>f = 1,12</math>  <math>A = 4,049</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,12 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1708 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,865 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,340 &lt; 2,025</math></li> <li>ii. <math>1,715 &lt; 2,025</math></li> <li>iii. <math>4,049 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,502 &lt; 0,112</math></li> <li>vi. <math>0,865 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>TA9</b></p> 	<p> <math>f = 1,08</math>  <math>A = 3,479</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,08 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1161 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,708 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,268 &lt; 1,740</math></li> <li>ii. <math>2,114 &lt; 1,740</math></li> <li>iii. <math>3,479 &gt; 2</math></li> <li>iv. Terpenuhi</li> <li>v. <math>0,479 &lt; 0,108</math></li> <li>vi. <math>0,708 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

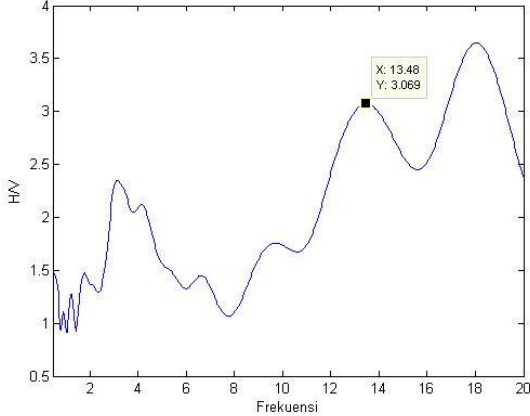
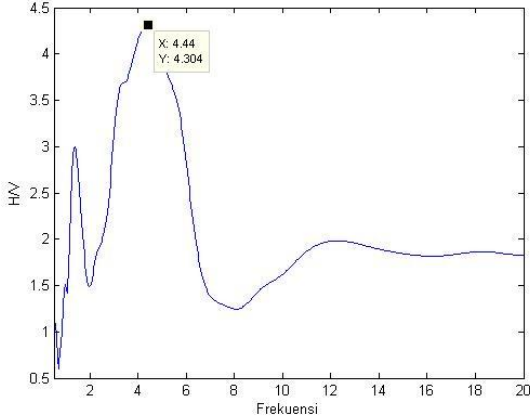
<p style="text-align: center;"><b>TA10</b></p> 	<p> <math>f = 0,6</math>  <math>A = 2,580</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,6 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1095 &gt; 200</math></li> <li><math>0,733 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,326 &lt; 1,290</math></li> <li><math>0,907 &lt; 1,290</math></li> <li><math>2,580 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,271 &lt; 0,090</math></li> <li><math>0,733 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>TA11</b></p> 	<p> <math>f = 1,16</math>  <math>A = 4,214</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,16 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2233 &gt; 200</math></li> <li><math>0,902 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,211 &lt; 2,107</math></li> <li><math>1,198 &lt; 2,107</math></li> <li><math>4,214 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,514 &lt; 0,116</math></li> <li><math>0,902 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

<p style="text-align: center;"><b>1</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the HVSR ratio on the y-axis (0 to 6) against frequency in Hz on the x-axis (0 to 16). A prominent peak is observed at 1.4 Hz, reaching a value of 5.876. The curve then drops and shows smaller fluctuations between 4 and 16 Hz.</p>	<p><math>f = 1,4</math>  <math>A = 5,876</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,4 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1260 &gt; 200</math></li> <li><math>1,443 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,361 &lt; 2,938</math></li> <li><math>1,522 &lt; 2,938</math></li> <li><math>5,876 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,629 &lt; 0,140</math></li> <li><math>1,443 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>2</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the HVSR ratio on the y-axis (0 to 9) against frequency in Hz on the x-axis (0 to 20). The curve starts at a low value, rises steadily to a broad peak at 18.64 Hz with an amplitude of 8.5, and then slightly declines at 20 Hz.</p>	<p><math>f = 18,64</math>  <math>A = 8,5</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>18,64 &gt; 0,4</math></li> <li><math>15378 &gt; 200</math></li> <li><math>2,259 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>5,929 &lt; 4,250</math></li> <li><math>3,452 &lt; 4,250</math></li> <li><math>8,5 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>8,123 &lt; 0,932</math></li> <li><math>2,259 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

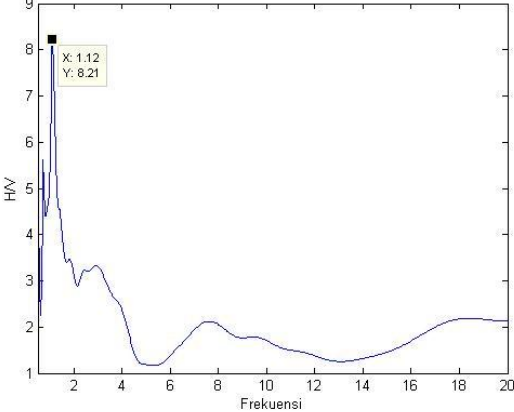
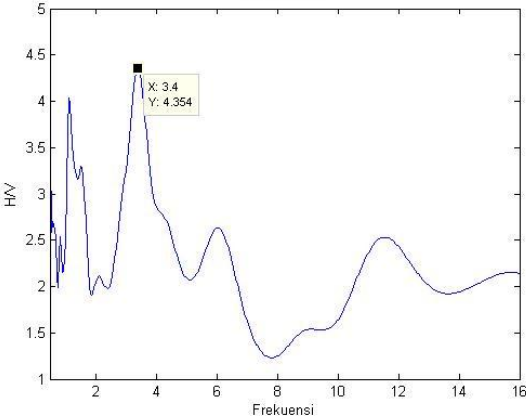
<p style="text-align: center;"><b>3</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 2,64</math>  <math>A = 3,110</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,64 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2310 &gt; 200</math></li> <li><math>0,707 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,865 &lt; 1,555</math></li> <li><math>1,390 &lt; 1,555</math></li> <li><math>3,110 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,160 &lt; 0,132</math></li> <li><math>0,707 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda          Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat          dan leleran lava tak          terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>4</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,2</math>  <math>A = 3,848</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,2 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1530 &gt; 200</math></li> <li><math>0,736 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,687 &lt; 1,924</math></li> <li><math>2,094 &lt; 2,499</math></li> <li><math>3,848 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,537 &lt; 0,162</math></li> <li><math>0,736 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda          Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat          dan leleran lava tak          terpisahkan.</p>

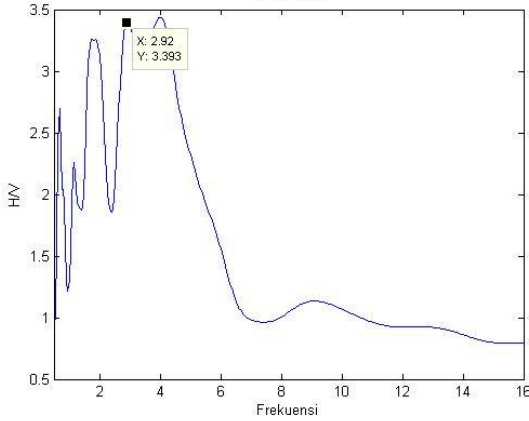
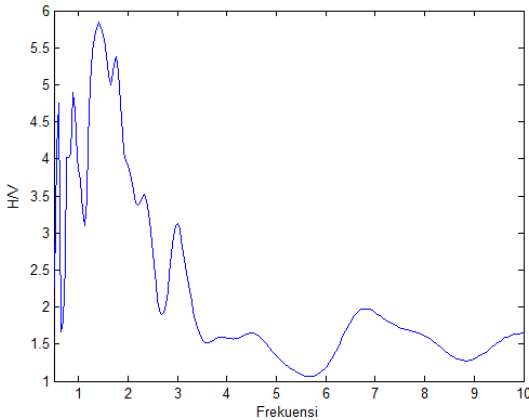
<p style="text-align: center;"><b>5</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 0,92</math>  <math>A = 3,949</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,92 &gt; 0,4</math></li> <li><math>460 &gt; 200</math></li> <li><math>0,789 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>5,213 &lt; 1,975</math></li> <li><math>1,890 &lt; 1,975</math></li> <li><math>3,949 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,421 &lt; 0,162</math></li> <li><math>0,789 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>6</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 2,84</math>  <math>A = 7,187</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,84 &gt; 0,4</math></li> <li><math>5112 &gt; 200</math></li> <li><math>1,623 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>5,081 &lt; 3,594</math></li> <li><math>2,351 &lt; 3,594</math></li> <li><math>7,187 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,253 &lt; 0,142</math></li> <li><math>1,623 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

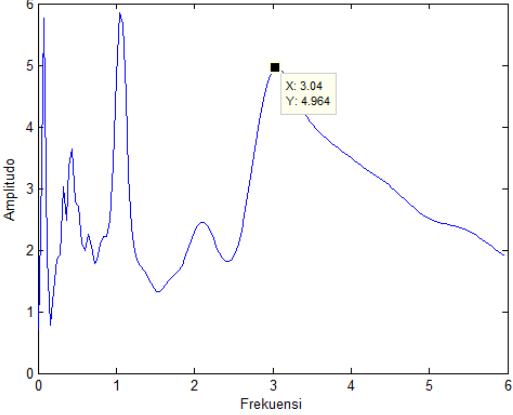
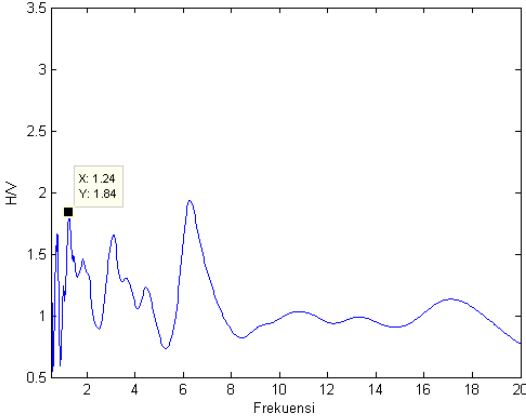
<p style="text-align: center;"><b>7</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 0,76</math>  <math>A = 3,555</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,76 &gt; 0,4</math></li> <li><math>950 &gt; 200</math></li> <li><math>0,882 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,927 &lt; 1,778</math></li> <li><math>1,604 &lt; 1,778</math></li> <li><math>3,555 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,352 &lt; 0,114</math></li> <li><math>0,882 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>8</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,8</math>  <math>A = 7,065</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,8 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1620 &gt; 200</math></li> <li><math>1,618 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,689 &lt; 3,533</math></li> <li><math>2,272 &lt; 3,533</math></li> <li><math>7,065 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,802 &lt; 0,180</math></li> <li><math>1,618 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

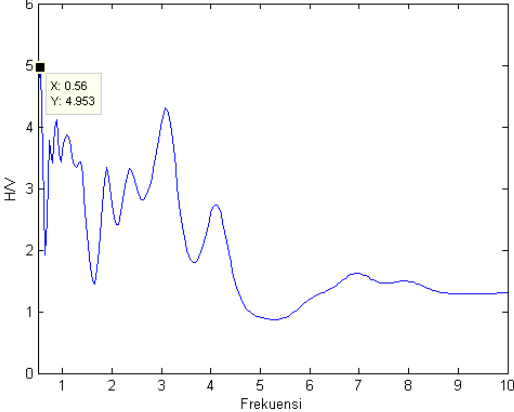
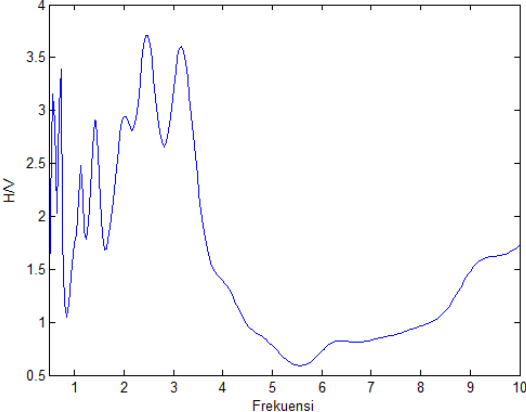
<p style="text-align: center;"><b>9</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the H/V ratio on the y-axis (ranging from 0.5 to 4) against frequency in Hz on the x-axis (ranging from 0 to 20). The curve has several peaks, with the most prominent one at 13.48 Hz with an H/V ratio of 3.069.</p>	<p><math>f = 13,48</math>  <math>A = 3,069</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>13,48 &gt; 0,4</math></li> <li><math>19209 &gt; 200</math></li> <li><math>0,818 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,809 &lt; 1,535</math></li> <li><math>2,262 &lt; 1,535</math></li> <li><math>3,069 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>5,860 &lt; 0,674</math></li> <li><math>0,818 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Semilir  Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batupung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan</p>
<p style="text-align: center;"><b>10</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the H/V ratio on the y-axis (ranging from 0.5 to 4.5) against frequency in Hz on the x-axis (ranging from 0 to 20). The curve shows a sharp peak at 4.44 Hz with an H/V ratio of 4.304.</p>	<p><math>f = 4,44</math>  <math>A = 4,304</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>4,44 &gt; 0,4</math></li> <li><math>4884 &gt; 200</math></li> <li><math>1,162 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,913 &lt; 2,152</math></li> <li><math>1,987 &lt; 2,152</math></li> <li><math>4,304 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,946 &lt; 0,222</math></li> <li><math>1,162 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

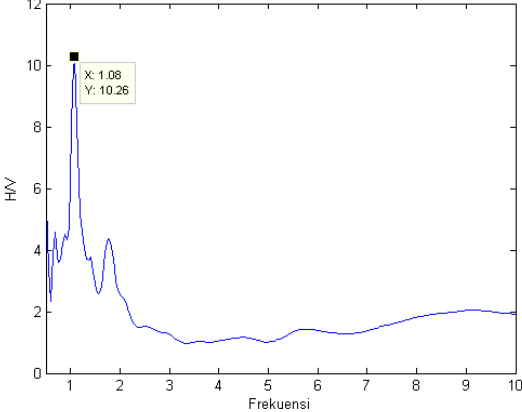
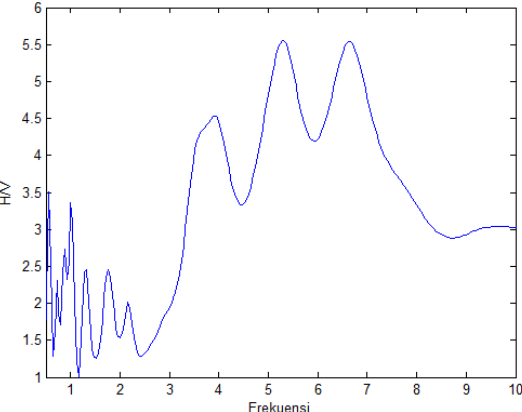


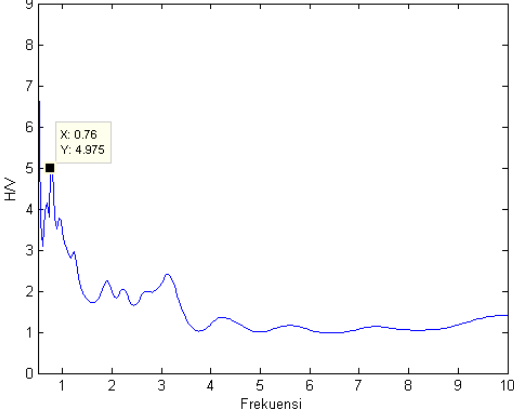
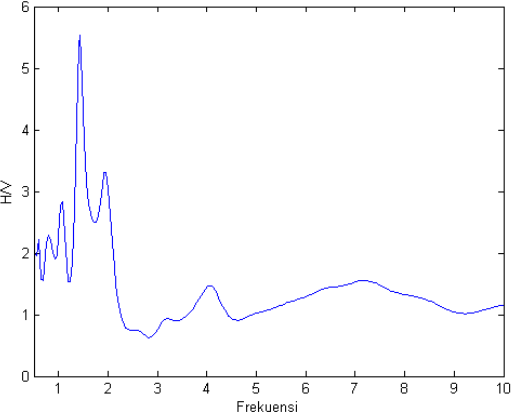
<p style="text-align: center;"><b>11</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,12</math>  <math>A = 8,210</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,12 &gt; 0,4</math></li> <li><math>980 &gt; 200</math></li> <li><math>1,462 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>7,445 &lt; 4,105</math></li> <li><math>3,202 &lt; 4,105</math></li> <li><math>8,210 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,502 &lt; 0,112</math></li> <li><math>1,462 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>12</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 3,4</math>  <math>A = 4,354</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,4 &gt; 0,4</math></li> <li><math>3570 &gt; 200</math></li> <li><math>0,641 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,820 &lt; 2,177</math></li> <li><math>2,099 &lt; 2,177</math></li> <li><math>4,354 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,495 &lt; 0,170</math></li> <li><math>0,641 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

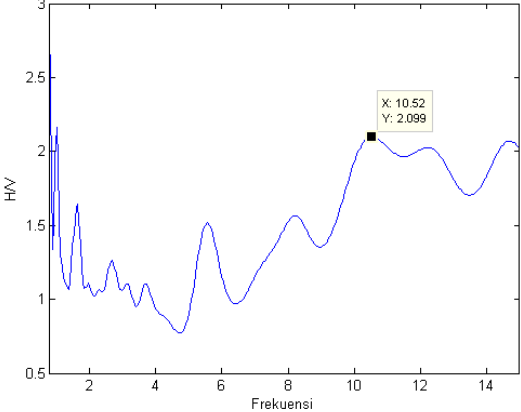
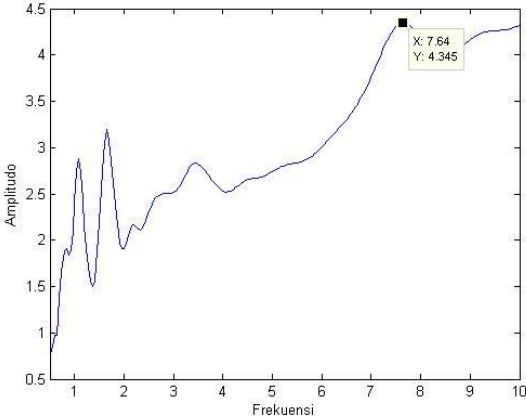
<p style="text-align: center;"><b>13</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 2,92</math>  <math>A = 3,393</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,92 &gt; 0,4</math></li> <li><math>3723 &gt; 200</math></li> <li><math>0,578 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,436 &lt; 1,697</math></li> <li><math>1,651 &lt; 1,697</math></li> <li><math>3,393 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,287 &lt; 0,146</math></li> <li><math>0,578 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>14</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,4</math>  <math>A = 5,840</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,4 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1365 &gt; 200</math></li> <li><math>1,129 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,758 &lt; 2,920</math></li> <li><math>2,414 &lt; 2,920</math></li> <li><math>5,840 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,618 &lt; 0,140</math></li> <li><math>1,129 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

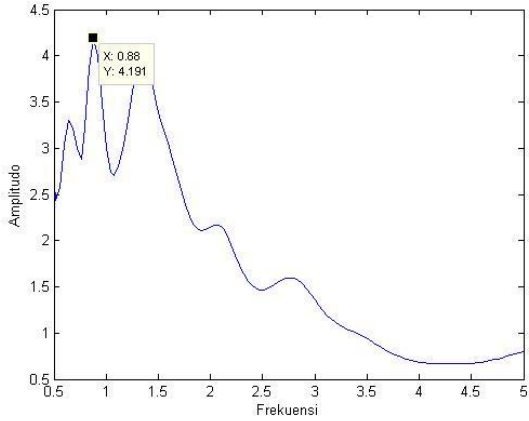
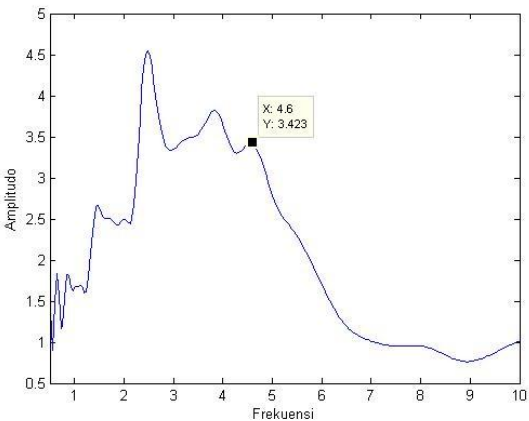
<p style="text-align: center;"><b>15</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 3,04</math>  <math>A = 4,964</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,04 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1976 &gt; 200</math></li> <li><math>0,968 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,588 &lt; 2,482</math></li> <li><math>1,896 &lt; 2,482</math></li> <li><math>4,964 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,334 &lt; 0,152</math></li> <li><math>0,968 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>16</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,24</math>  <math>A = 1,840</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,24 &gt; 0,4</math></li> <li><math>930 &gt; 200</math></li> <li><math>0,229 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,576 &lt; 0,920</math></li> <li><math>1,244 &lt; 0,920</math></li> <li><math>1,840 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,548 &lt; 0,124</math></li> <li><math>0,229 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Semilir  Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan</p>

<p style="text-align: center;"><b>17</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 0,56</math>  <math>A = 4,953</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,56 &gt; 0,4</math></li> <li><math>784 &gt; 200</math></li> <li><math>0,755 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,760 &lt; 2,477</math></li> <li><math>3,067 &lt; 2,477</math></li> <li><math>4,953 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,260 &lt; 0,084</math></li> <li><math>0,755 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>18</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 2,48</math>  <math>A = 3,713</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,48 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2542 &gt; 200</math></li> <li><math>0,871 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,407 &lt; 1,857</math></li> <li><math>1,358 &lt; 1,857</math></li> <li><math>3,713 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>1,091 &lt; 0,124</math></li> <li><math>0,871 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

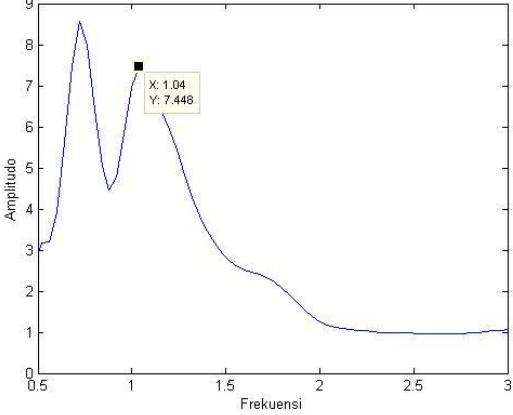
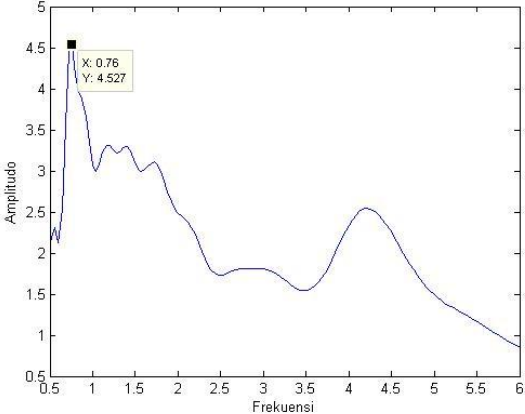
<p style="text-align: center;"><b>19</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,08</math>  <math>A = 10,26</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,08 &gt; 0,4</math></li> <li><math>810 &gt; 200</math></li> <li><math>1,092 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>4,148 &lt; 5,130</math></li> <li><math>2,072 &lt; 5,130</math></li> <li><math>10,26 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,479 &lt; 0,108</math></li> <li><math>1,092 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>20</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 6,64</math>  <math>A = 5,538</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>6,64 &gt; 0,4</math></li> <li><math>3984 &gt; 200</math></li> <li><math>1,088 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,571 &lt; 2,769</math></li> <li><math>2,070 &lt; 2,769</math></li> <li><math>5,538 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>2,893 &lt; 0,332</math></li> <li><math>1,088 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Semilir  Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan</p>

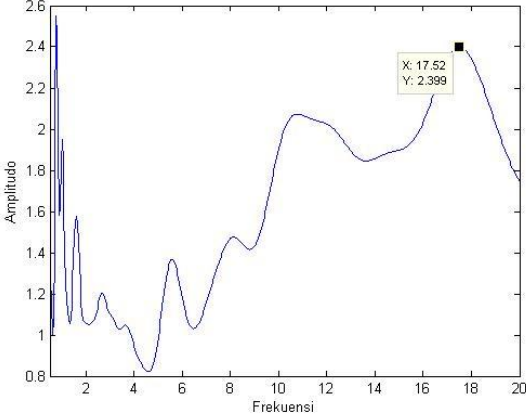
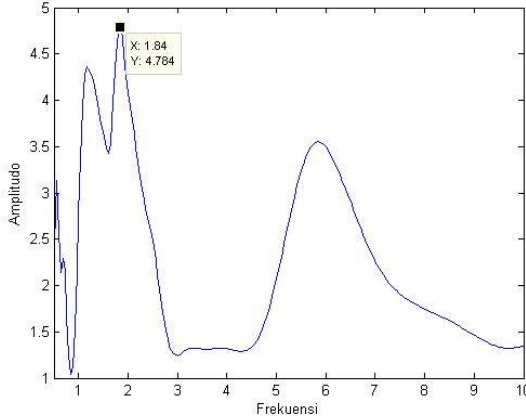
<p style="text-align: center;"><b>21</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 0,76</math>  <math>A = 4,975</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,76 &gt; 0,4</math></li> <li><math>646 &gt; 200</math></li> <li><math>1,321 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>5,974 &lt; 2,488</math></li> <li><math>2,296 &lt; 2,488</math></li> <li><math>4,975 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,341 &lt; 0,114</math></li> <li><math>1,321 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>22</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p><math>f = 1,44</math>  <math>A = 5,536</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,44 &gt; 0,4</math></li> <li><math>720 &gt; 200</math></li> <li><math>1,082 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,235 &lt; 2,768</math></li> <li><math>1,350 &lt; 2,768</math></li> <li><math>5,536 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,641 &lt; 0,144</math></li> <li><math>1,082 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

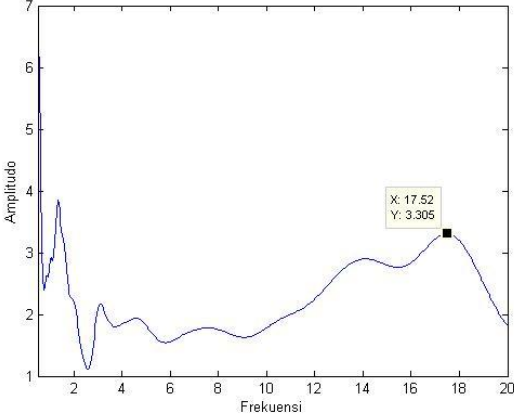
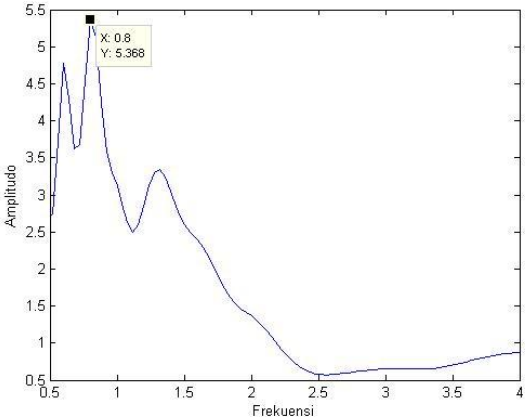
<p style="text-align: center;"><b>23</b></p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the H/V ratio on the y-axis (ranging from 0.5 to 3) against frequency in Hz on the x-axis (ranging from 0 to 14). The curve exhibits several peaks, with the most prominent one at 10.52 Hz with an H/V ratio of 2.099.</p>	<p><math>f = 10,53</math>  <math>A = 2,099</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>10,53 &gt; 0,4</math></li> <li><math>8687 &gt; 200</math></li> <li><math>0,349 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,286 &lt; 1,050</math></li> <li><math>1,732 &lt; 1,050</math></li> <li><math>2,099 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>4,567 &lt; 0,527</math></li> <li><math>0,349 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>24</b></p>  <p>The graph shows amplitude on the y-axis (ranging from 0.5 to 4.5) against frequency in Hz on the x-axis (ranging from 0 to 10). The curve shows a general upward trend with several peaks, with the highest peak at 7.64 Hz with an amplitude of 4.345.</p>	<p><math>f = 7,64</math>  <math>A = 4,345</math></p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>7,64 &gt; 0,4</math></li> <li><math>4966 &gt; 200</math></li> <li><math>0,871 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,901 &lt; 2,173</math></li> <li><math>4,428 &lt; 2,173</math></li> <li><math>4,345 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>3,320 &lt; 0,382</math></li> <li><math>0,871 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

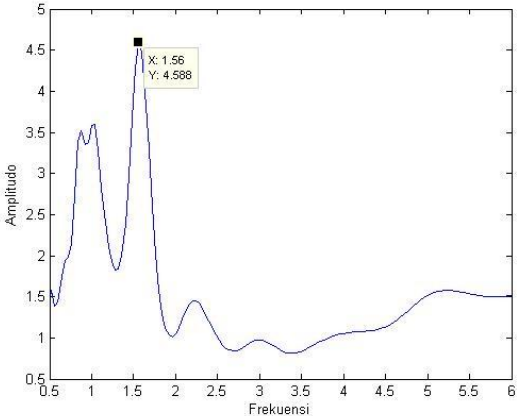
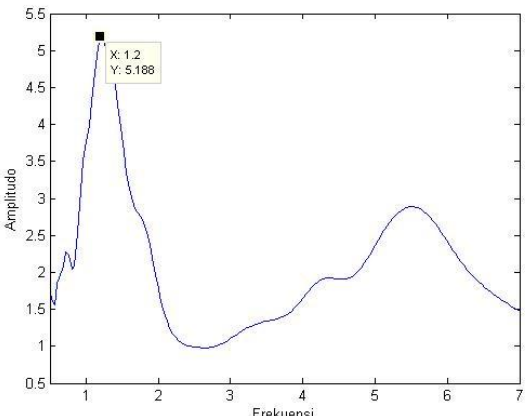
<p style="text-align: center;"><b>26</b></p> 	<p><math>f = 0,88</math>  <math>A = 4,191</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,88 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1166 &gt; 200</math></li> <li><math>0,882 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,811 &lt; 2,096</math></li> <li><math>2,151 &lt; 2,096</math></li> <li><math>4,191 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,664 &lt; 0,132</math></li> <li><math>0,882 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>28</b></p> 	<p><math>f = 4,6</math>  <math>A = 3,423</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>4,6 &gt; 0,4</math></li> <li><math>2300 &gt; 200</math></li> <li><math>0,377 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,222 &lt; 1,712</math></li> <li><math>1,159 &lt; 1,712</math></li> <li><math>3,423 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,260 &lt; 0,230</math></li> <li><math>0,377 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>



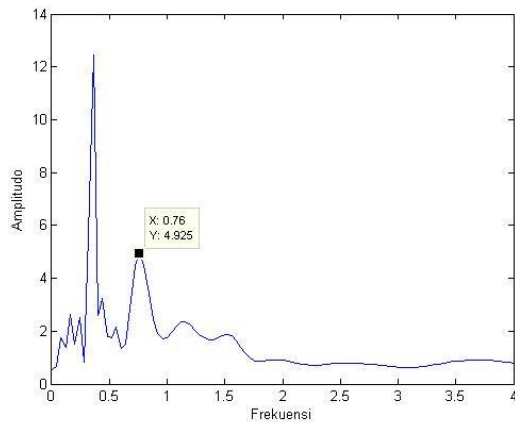
<p style="text-align: center;"><b>30</b></p> 	<p><math>f = 1,04</math>  <math>A = 7,448</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,04 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1196 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>2,217 &lt; 2</math></li> </ul> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>4,267 &lt; 3,724</math></li> <li>ii. <math>1,881 &lt; 3,724</math></li> <li>iii. <math>7,448 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,468 &lt; 0,104</math></li> <li>vi. <math>2,217 &lt; 1,780</math></li> </ul> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>31</b></p> 	<p><math>f = 0,76</math>  <math>A = 4,527</math>  <b>Kriteria Reliabel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>0,76 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1330 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,673 &lt; 2</math></li> </ul> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,336 &lt; 2,246</math></li> <li>ii. <math>2,636 &lt; 2,246</math></li> <li>iii. <math>4,527 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,548 &lt; 0,114</math></li> <li>vi. <math>0,673 &lt; 2</math></li> </ul> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  dan leleran lava tak  terpisahkan.</p>

<p style="text-align: center;"><b>34</b></p> 	<p> <math>f = 17,52</math>  <math>A = 2,399</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>17,52 &gt; 0,4</math></li> <li><math>14454 &gt; 200</math></li> <li><math>0,287 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,710 &lt; 1,200</math></li> <li><math>1,943 &lt; 1,200</math></li> <li><math>2,399 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,687 &lt; 0,876</math></li> <li><math>0,287 &lt; 1,580</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Semilir  Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan</p>
<p style="text-align: center;"><b>36</b></p> 	<p> <math>f = 1,84</math>  <math>A = 4,784</math> </p> <p><b>Kriteria Reliabel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,84 &gt; 0,4</math></li> <li><math>1472 &gt; 200</math></li> <li><math>1,060 &lt; 2</math></li> </ol> <p><b>Kriteria Clear Peak</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>3,212 &lt; 2,392</math></li> <li><math>2,301 &lt; 2,392</math></li> <li><math>4,784 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,606 &lt; 0,184</math></li> <li><math>1,060 &lt; 1,780</math></li> </ol> <p><b>Informasi Lokasi</b></p> <p>Formasi Geologi : Formasi Semilir  Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan</p>

<p style="text-align: center;"><b>38</b></p> 	<p> <math>f = 17,52</math>  <math>A = 3,305</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>17,52 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>12702 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>0,820 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,228 &lt; 1,653</math></li> <li>ii. <math>2,347 &lt; 1,653</math></li> <li>iii. <math>3,305 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,629 &lt; 0,876</math></li> <li>vi. <math>0,820 &lt; 1,580</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Formasi Semilir            Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan         </p>
<p style="text-align: center;"><b>40</b></p> 	<p> <math>f = 0,8</math>  <math>A = 5,368</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>0,8 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>640 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,045 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,405 &lt; 2,684</math></li> <li>ii. <math>1,747 &lt; 2,684</math></li> <li>iii. <math>5,368 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,768 &lt; 0,080</math></li> <li>vi. <math>1,045 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

<p style="text-align: center;"><b>41</b></p> 	<p> <math>f = 1,56</math>  <math>A = 4,588</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,56 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1755 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,036 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>2,514 &lt; 2,294</math></li> <li>ii. <math>1,322 &lt; 2,294</math></li> <li>iii. <math>4,588 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,849 &lt; 0,156</math></li> <li>vi. <math>1,036 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>
<p style="text-align: center;"><b>43</b></p> 	<p> <math>f = 1,2</math>  <math>A = 5,188</math>  <b>Kriteria Reliabel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>1,2 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. <math>1140 &gt; 200</math></li> <li>iii. <math>1,334 &lt; 2</math></li> </ul> <b>Kriteria Clear Peak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>3,037 &lt; 2,594</math></li> <li>ii. <math>1,887 &lt; 2,594</math></li> <li>iii. <math>5,188 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak terpenuhi</li> <li>v. <math>0,860 &lt; 0,120</math></li> <li>vi. <math>1,334 &lt; 1,780</math></li> </ul> <b>Informasi Lokasi</b>            Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda            Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.         </p>

45



$$f = 0,76$$

$$A = 4,925$$

Kriteria Reliabel

- i.  $0,76 > 0,4$
- ii.  $228 > 200$
- iii.  $0,457 < 2$

Kriteria *Clear Peak*

- i.  $3,303 < 2,463$
- ii.  $1,357 < 2,463$
- iii.  $4,925 > 2$
- iv. Tidak terpenuhi
- v.  $0,941 < 0,114$
- vi.  $0,457 < 2$

Informasi Lokasi

Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda  
Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat  
dan leleran lava tak  
terpisahkan.

## LAMPIRAN V

### Program MATLAB R2008a

#### 1. Program utama analisis spektrum fourier

```
clc; clear all;clf;
%=====Komponen E=====
x=xlsread('E.xlsx');
P=2500;          %panjang window

PW=0:1:43;      %Matriks potongan data window
jumlah_window=length(PW);

for i=1:length(PW);
    s=0;
    W=x((PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P);
    [hasil_fft]=fft_64(W);
    s = s + hasil_fft;
end

S=s/jumlah_window;

fs=100;
N=length(W);
k=0:1:(N-1);
fx=(fs/N)*k';

f=fx';
St=S';

%===== Smoothingnya =====
b=40;
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);

S1t=S1';

%===== Plotnya =====
%plot(f(1:400),St(1:400),'b'); hold on;
plot(f(1:400),S1(1:400),'r');
title('Kurva E');
xlabel('Frekuensi'); ylabel('H/V');
```

## 2. Program HVSR

```
clc; clear all;clf;
Y=xlsread('HVSr2.xlsx');
X=Y(1:length(Y));
N=2500;
dt=1/100;
T=N*dt;
r=64;
k=0:1:N-1;
f=k*1/T;
fa=f';
b=40;

plot(f(1:500),X(1:500));
xlabel('Frekuensi');
ylabel('H/V');
title('Kurva HVSR');
xlim([0.5 20]);
```

## 3. Program FFT

```
function [hasil]=fft_64(W)
    %W adalah sinyal input
N=length(W);    %Jumlah data sinyal
r=64;    %radix 64
k=0:(N/r)-1;
n=0:N-1;
    %=====FFT RADIX 64=====

z1=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r)/N)*W(r*k+1)';
z2=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+1)/N)*W(r*k+2)';
z3=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+2)/N)*W(r*k+3)';
z4=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+3)/N)*W(r*k+4)';
z5=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+4)/N)*W(r*k+5)';
z6=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+5)/N)*W(r*k+6)';
z7=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+6)/N)*W(r*k+7)';
z8=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+7)/N)*W(r*k+8)';
z9=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+8)/N)*W(r*k+9)';
z10=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+9)/N)*W(r*k+10)';
z11=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+10)/N)*W(r*k+11)';
z12=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+11)/N)*W(r*k+12)';
z13=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+12)/N)*W(r*k+13)';
z14=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+13)/N)*W(r*k+14)';
z15=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+14)/N)*W(r*k+15)';
z16=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+15)/N)*W(r*k+16)';
z17=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+16)/N)*W(r*k+17)';
z18=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+17)/N)*W(r*k+18)';
z19=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+18)/N)*W(r*k+19)';
z20=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+19)/N)*W(r*k+20)';
z21=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+20)/N)*W(r*k+21)';
z22=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+21)/N)*W(r*k+22)';
z23=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+22)/N)*W(r*k+23)';
```

```

z24=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+23)/N)*W(r*k+24)';
z25=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+24)/N)*W(r*k+25)';
z26=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+25)/N)*W(r*k+26)';
z27=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+26)/N)*W(r*k+27)';
z28=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+27)/N)*W(r*k+28)';
z29=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+28)/N)*W(r*k+29)';
z30=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+29)/N)*W(r*k+30)';
z31=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+30)/N)*W(r*k+31)';
z32=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+31)/N)*W(r*k+32)';
z33=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+32)/N)*W(r*k+33)';
z34=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+33)/N)*W(r*k+34)';
z35=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+34)/N)*W(r*k+35)';
z36=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+35)/N)*W(r*k+36)';
z37=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+36)/N)*W(r*k+37)';
z38=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+37)/N)*W(r*k+38)';
z39=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+38)/N)*W(r*k+39)';
z40=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+39)/N)*W(r*k+40)';
z41=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+40)/N)*W(r*k+41)';
z42=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+41)/N)*W(r*k+42)';
z43=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+42)/N)*W(r*k+43)';
z44=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+43)/N)*W(r*k+44)';
z45=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+44)/N)*W(r*k+45)';
z46=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+45)/N)*W(r*k+46)';
z47=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+46)/N)*W(r*k+47)';
z48=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+47)/N)*W(r*k+48)';
z49=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+48)/N)*W(r*k+49)';
z50=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+49)/N)*W(r*k+50)';
z51=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+50)/N)*W(r*k+51)';
z52=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+51)/N)*W(r*k+52)';
z53=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+52)/N)*W(r*k+53)';
z54=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+53)/N)*W(r*k+54)';
z55=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+54)/N)*W(r*k+55)';
z56=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+55)/N)*W(r*k+56)';
z57=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+56)/N)*W(r*k+57)';
z58=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+57)/N)*W(r*k+58)';
z59=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+58)/N)*W(r*k+59)';
z60=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+59)/N)*W(r*k+60)';
z61=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+60)/N)*W(r*k+61)';
z62=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+61)/N)*W(r*k+62)';
z63=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+62)/N)*W(r*k+63)';
z64=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+63)/N)*W(r*k+64)';

```

```

z=z1+z2+z3+z4+z5+z6+z7+z8+z9+z10+z11+z12+z13+z14+z15+z16+z17+z18+z19
+z20+z21+z22+z23+z24+z25+z26+z27+z28+z29+z30+z31+z32+z33+z34+z35+z36
+z37+z38+z39+z40+z41+z42+z43+z44+z45+z46+z47+z48+z49+z50+z51+z52+z53
+z54+z55+z56+z57+z58+z59+z60+z61+z62+z63+z64;

```

```

hasil=abs(2*z/N);

```

```

end

```



#### 4. Program Smoothing Konno-Ohmachi

```
function [spektrum_baru]=smooth_spektrum(S,f,b)
    %Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB
    [smooth_matrix]=hitung_smoothing_matrix(f,b);
    spektrum_baru=S*smooth_matrix;
end

function [smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b)
    %Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB
    %f == matrix frekuensi
    %fc == center frequency
    %b == konno-ohmachi bandwidth
    l=length(f);
    %apabila f_c=0 buat matriks 0 sepanjang l, kecuali suku
    pertama yg
    %bernilai 1
    if f_c==0
        smooth_window=zeros(1,l);
        smooth_window(1)=1;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    else
        smooth_window=(sin(b*log10(f./f_c))./(b*log10(f./f_c))).^4;
        %mengganti inf dengan 1
        posisi_fc= f==f_c;
        smooth_window(posisi_fc)=1;
        %mengganti NaN dengan 0
        posisi_NaN= isnan(smooth_window);
        smooth_window(posisi_NaN)=0;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    end
end
```

## LAMPIRAN VI

### TECHNICAL INDICATOR DIGITAL PORTABLE SEISMOGRAPH

TDL 303S

<b>Digital Portable Seismograph Main Technical Indicators:</b>	
Supply voltage	DC 12V (normally work under 6~18V)
Power consumption	Maximum (charging under full power):12V×1.3A; No charging: < 1.4W(GPS off, system run on normally)
Operating temperature	-20 ~65°C
Dimensions of the device	280×230×160 mm
Weight	4.5 kg
Packing and transportation	Accord with GB/T 6587 Rules to 3-level exact instrument

<b>Built-in Data Acquisition System Technical Indicators :</b>	
Data acquisition channel	3 channels (6 channels, optional)
Sensor interface	compatible with DB/T13-2000 rules
Signal input mode	Double-ended differential signal input
A/D conversion	24 bit
Input impedance	single - ended 160KΩ, double-ended 320KΩ
Input signal scale value	7-level program-controlled optional gains of 1, 2, 4, 8, 16, 32 and 64, (corresponding to ±0.3125V, ±0.625V, ±1.25V, ±2.5V, ±5V, ±10V, ±20V differential signal input)
Dynamic Range	≥135dB @50sps/chn, ≥133dB @100sps/chn, ≥131dB @200sps/chn
System noise	< 1 LSB (effective value)
Nonlinear distortion	< -110dB @ 50sps/chn
Interchannel crosstalk	< -110dB
Digital filtering	FIR digital filter, optional linear phase shift and minimum phase shift
Passband ripple	< 0.1 dB
Outside passband attenuation	> 135 dB
Output sampling rate	1、5、10、20、25、40、50、100、125、200、250、333、500Hz
Band range	0~0.4、2、4、8、10、16、20、40、50、80、100、133、200Hz
De-zeroing filter	one-step digital high-pass filter

High-pass filtering	Cutoff cycle 225s, 450s, 900s, 1800s, 3600s, 7200s or close the filter
Calibration signal generator	16-bit DAC, program-controlled wave form output, calibration output current and voltage output are optional. When calibration current, the full range is $\pm 5\text{mA}$ . When outputting voltage calibration, the full range is $\pm 5\text{V}$
Number of calibration signal channels	3-channel, Calibration enabled output control. When calibration is disabled, calibration output and external circuit are entirely physically isolated
Calibration signal type	Step, sine wave, pseudo random coding signal, simulated seismic signal
Calibration output	Signal frequency, amplitude, cycles are set and controlled by utility
Calibration Enable Mode	Instruction and timing modes
Frequency stability	Temperature compensation voltage controlled crystal oscillator(TCVCXO), real time frequency accuracy monitoring
Time check mode	Built-in GPS receiver, GPS second pulse adjustment of crystal oscillator frequency TCVCXO through phase locked loop (PLL) voltage control
Time service/on time precision	Superior to 1ms
GPS Operating Mode	Continuous or time switch time correcting
Environment and Status Monitoring	6-way standalone A/D monitoring channels for a collector, automatically monitoring the status of the environment and the seismometer, monitoring the zero drift of the seismometer (MASS POSITION), service voltage of the stations and the observatories, voltage of accumulator, monitoring temperature parameters of the stations and the observatories
Recording function	Support internal continuous/triggering record wave form, volume extendable, support over 10-day consecutive data storage (3 tracks/s 100 points sampling)
Record format	Corrected SEED-Steim2 compression mode
Recording medium	Pluggable CF card electronic disc, 512MB for standard configuration, optional HDD (under the optional HDD condition, the range of system operating temperature and system power consumption indicators may drop)
Communication interface	Standard RS-232C series port, standard RJ45/LAN Ethernet interface
Monitoring setting	Display collected parameters through keys on panel and LED nixie tubes
Communication protocols	Support TCP/IP protocol, support real-time, multicast data transmission over Internet/VPN network, support

	remote management, and support data retransmission at breaking point, etc. Support DDN, wireless/GPRS/CDMA data transmission. Support data networking and sharing among multiple data transmission (including serial port/network etc.) on the same platforms, support data call and switching among multiple seismograph network and centers.
Information transferred	Real-time waveform, monitoring data, parameter/message, local recording data
Management Software	Functions, such as parameter setting, self-checking function, real-time graphic display and save, may run on a notebook PC with online help.
Lightning protection	Set at all end of the power, RS232 signal, network signal, and seismometer signal.
Self Enable Function	Self check, reset when the machine is down (including reset for no output signals), self rebooting functions.

<b>Built-in Three-direction Accelerometer Technical Indicators:</b>	
Measuring Range	±2g
Sensitivity	2V/g
Frequency Response	0~200Hz (3dB flatten)
Dynamic Range	> 90dB
Calibration Mode	Pulse calibration
Full Scale Range	±4V
Linearity	≤1%
Transverse Sensitivity Ratio	≤1%
Output Noise	≤40μg (effective value)
Operating temperature	-20°C~70°C
Static Current	≤25mA (12V DC)
Power Supply voltage	12V DC

## LAMPIRAN VII

### DOKUMENTASI



## LAMPIRAN VIII

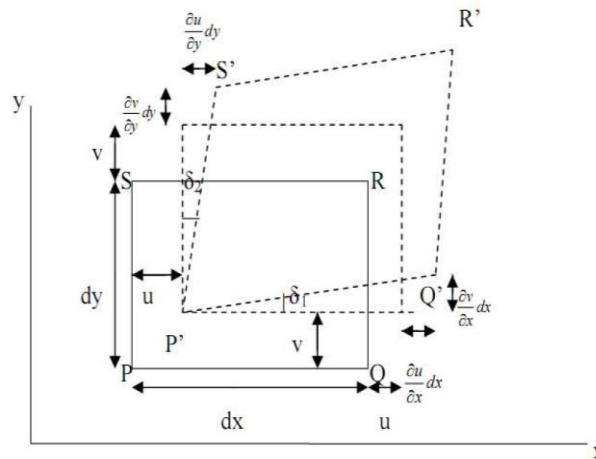
### Persamaan Gelombang Seismik

Tinjau medium berbentuk kubus seperti Gambar 2, yang dikenakan sebuah gaya tertentu maka diperoleh

Tegangan normal :  $\sigma_{xx}$

Tegangan geser :  $\sigma_{yx}$  dan  $\sigma_{zx}$

Gaya-gaya yang dikerjakan pada suatu benda berusaha meregangkan benda tersebut. Perubahan fraksional suatu benda elastik baik bentuk maupun dimensinya dinamakan dengan regangan (*strain*). Analisis kuantitatif dua dimensi (2D) regangan dapat diilustrasikan seperti pada Gambar L16.



Gambar L16. Analisis Regangan Dua Dimensi (Telford *et al*, 1990)

Regangan normal :

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} ; \epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} ; \epsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (L1)$$

Regangan geser :

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} ; \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} ; \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (\text{L2})$$

Komponen regangan pada benda yang mengalami perpindahan secara rotasional :

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} ; \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} ; \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (\text{L3})$$

Hukum Hooke merupakan hubungan anantara tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\varepsilon$ ), yang ditunjukkan pada persamaan :

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu \varepsilon_{ii} , \quad i = x, y, z \quad (\text{L4})$$

$$\sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij} , \quad i \neq j \quad (\text{L5})$$

Total gaya pada sumbu  $x$  pada medium berbentuk kubus:

$$F = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (\text{L6})$$

Apabila gaya tersebut membuat pergeseran partikel sejauh  $u$ , maka Hukum Newton :

$$F = ma = \rho V a = \rho (dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) \quad (\text{L7})$$

Persamaan (L6) dapat ditulis

$$\rho (dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (\text{L8})$$

$$\text{Sumbu } x = \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \quad (\text{L9})$$

$$\text{Sumbu } y = \rho \left( \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right) = \left( \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial z} \right) \quad (\text{L10})$$

$$\text{Sumbu } z = \rho \left( \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) = \left( \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right) \quad (\text{L11})$$

Persamaan (L4) dan (L5) dimasukkan ke dalam persamaan (L9), maka persamaan

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial}{\partial x} (\lambda' \Delta + 2\mu \varepsilon_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu \varepsilon_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu \varepsilon_{zx}) \right) \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + 2\mu \frac{\partial \varepsilon_{xx}}{\partial x} + \mu \frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial y} + \mu \frac{\partial \varepsilon_{zx}}{\partial z} \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \left( 2 \frac{\partial \varepsilon_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \varepsilon_{zx}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{L12})$$

Persamaan (L1) dan (L2) dimasukkan ke persamaan (L12)

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \left( 2 \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \left( 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \right) \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \lambda' \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \mu \frac{\partial \Delta}{\partial x} \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \end{aligned} \quad (\text{L13})$$



Dimana  $\Delta$  adalah dilatasi volume dan  $\nabla^2 u = \text{Laplace}$  dengan  $u = \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$ . Persamaan tersebut juga dapat digunakan untuk  $v$  dan  $w$

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (\text{L14})$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (\text{L15})$$

Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (L13), (L14), dan (L15) masing-masing terhadap  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ .

Untuk persamaan (L13) didifferensialkan terhadap  $x$  dapat diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left( (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \right) \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial u}{\partial x} \end{aligned} \quad (\text{L16})$$

Untuk persamaan (L14) didifferensialkan terhadap  $y$  dapat diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \rho \left( \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right) &= \frac{\partial}{\partial y} \left( (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \right) \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial y} \end{aligned} \quad (\text{L17})$$

Untuk persamaan (L15) didifferensialkan terhadap  $z$  dapat diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} \rho \left( \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) &= \frac{\partial}{\partial z} \left( (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \right) \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \quad (\text{L18})$$

dengan menjumlahkan persamaan (L16), (L17) dan (L18), maka diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial y} \\ &\quad + (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial z} \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} + \mu \nabla^2 \frac{\partial u}{\partial x} + \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial y} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial z} \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

Hasil penjumlahan dapat disederhanakan sebagai berikut

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + \mu) \nabla^2 \Delta + \mu \nabla^2 \Delta \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + 2\mu) \nabla^2 \Delta \\ \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \frac{(\lambda' + 2\mu)}{\rho} \nabla^2 \Delta \\ V_p^2 &= \frac{(\lambda' + 2\mu)}{\rho}\end{aligned}$$

Dari persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang longitudinal atau kecepatan gelombang P yang dinyatakan

$$V_p^2 = \sqrt{\frac{(\lambda' + 2\mu)}{\rho}} \quad (\text{L19})$$

Kecepatan gelombang S didapat dari persamaan (L14) didiferensialkan terhadap  $z$  maka diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right) &= \frac{\partial}{\partial z} (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y \partial z} + \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial z}\end{aligned} \quad (\text{L20})$$

dari persamaan (L15) didiferensialkan terhadap  $y$  maka diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial y} \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial y} (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z \partial y} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial y}\end{aligned}\quad (\text{L21})$$

dengan mengurangkan hasil differensial persamaan (L21) dengan hasil differensial persamaan (L20), maka diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z \partial y} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial y} - \left( (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y \partial z} + \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z \partial y} - (\lambda' + \mu) \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y \partial z} + \mu \nabla^2 \frac{\partial w}{\partial y} - \mu \nabla^2 \frac{\partial v}{\partial z} \\ \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z \partial y} - \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y \partial z} \right) + \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)\end{aligned}\quad (\text{L22})$$

Mensubstitusikan  $\left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)$  dengan tetapan rotasi ( $\theta$ ) pada persamaan (L3), maka pengurangan diatas dapat disederhanakan sebagai berikut

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2 (2\theta_x)}{\partial t^2} &= \mu \nabla^2 (2\theta_x) \\ 2\rho \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} &= 2\mu \nabla^2 (\theta_x) \\ \rho \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} &= \mu \nabla^2 (\theta_x) \\ \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} &= \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 (\theta_x) \\ V_s^2 &= \frac{\mu}{\rho}\end{aligned}\quad (\text{L23})$$

Dari persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang transversal atau kecepatan gelombang S yang dinyatakan

$$V_s^2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (\text{L24})$$

**LAMPIRAN IX**

***DATASHEET* SESAME**